

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta stavební
Katedra geotechniky a podzemního stavitelství

**Posouzení pravostranného svahu řeky Bečvy ve Vsetíně, v řkm
20,000 – 20,200 a vypracování návrhu nezbytných stabilizačních
opatření**

**Assessment of the river Bečva right bank in Vsetín – the River
Kilometer 20,000 to 20,200 and design of stabilization measures**

Student:

Bc. Barbora Vančurová

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Martin Stolarik, Ph.D.

Ostrava 2017

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Barbora Vančurová**

Studijní program: **N3607 Stavební inženýrství**

Studijní obor: **3607T035 Geotechnika**

Téma: **Posouzení pravostranného svahu řeky Bečvy ve Vsetíně, v řkm 20,000 - 20,200 a vypracování návrhu nezbytných stabilizačních opatření**
Assessment of the River Bečva Right Bank in Vsetín – the River Kilometer 20.000 to 20.200 and Design of Stabilization Measures

Jazyk vypracování: **čeština**

Zásady pro vypracování:

1. Geologické a hydrogeologické poměry posuzované lokality
2. Analýza stávajícího stavu, včetně matematického modelu
3. Návrh variantních sanačních opatření
4. Modelová analýza navržených variant sanací
5. Porovnání jednotlivých variant sanací
6. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:


1. Hulla, J., Turcek, P. *Zakladanie stavieb*. Jaga: Bratislava, 1998. ISBN 80-88905-05-2.
2. Vaníček, I., Vaníček, M. *Earth Structures*. Kluwer Academic Publisher Group. ISBN 9781402039638.
3. Coduto, D. *Geotechnical Engineering*. Prentice Hall: New Jersey, 1999. ISBN 0-12-576380-0.
4. Rozsypal, A. *Kontrolní sledování a rizika v geotechnice*. Jaga: Bratislava, 2001. ISBN 80-88905-44-3.
5. Brinkgreve, R.B.J. *Manual Plaxis*. Balkema. ISBN 90-5809-508-8

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Martin Stolárik, Ph.D.**

Datum zadání: **28.02.2017**

Datum odevzdání: **30.11.2017**


doc. RNDr. Eva Hruběšová, Ph.D.
vedoucí katedry




prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- byla jsem seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Poděkování

Ráda bych zde poděkovala vedoucímu diplomové práce Ing. Martinu Stolárikovi, Ph.D. za pomoc a celkovou podporu při vzniku této diplomové práce. Dále děkuji Ing. Miroslavu Pinkovi za pomoc při terénním měření a matematickém modelování. Mé díky patří i panu Ing. Jaroslavu Ryšávkovi, Ph.D. z firmy UNIGEO a.s. za ochotné jednání a poskytnutí informací.

Anotace

Diplomová práce se zabývá posouzením stability pravostranného svahu řeky Bečvy ve Vsetíně, v řkm 20,000 – 20,200 a vypracováním návrhu nezbytných stabilizačních opatření. V úvodu práce je ve stručnosti obecně popsána problematika svahových pohybů a možnosti jejich řešení. Další část se už zabývá popisem lokality daného svahu včetně výsledků vlastní průzkumné činnosti. Dále je pak v programu PLAXIS 2D vypracován matematický model řešeného svahu, který posuzuje stávající stav svahu pomocí metody konečných prvků. Na tento model navazuje návrh variant sanačních opatření a jejich modelové analýzy. Výsledky jsou navzájem porovnány a zhodnoceny.

Klíčová slova

Stabilita svahu, svahové pohyby, sanační opatření, matematický model, PLAXIS 2D

Annotation

This master thesis deals with the stability assessment of the right bank of Bečva river in Vsetín, between 20,000 – 20,200 rkm, and the elaboration of the necessary stabilization measures. At the beginning of this thesis problematics of slope movements and the possibilities of their solution are explained. The next part deals with the description of location of the given slope, including results of author's exploration activity. Next, a mathematical model of the solved slope is developed in the PLAXIS 2D program, which evaluates the current slope state using the finite element method. This model is followed by the design of sanitation measure variants and their model analysis. Then results are compared and evaluated.

Key notes

Slope stability, slope movements, remediation measures, mathematical model, PLAXIS 2D

Obsah

Seznam použitého značení	1
1. Úvod	2
2. Svahové pohyby	3
2.1. Příčiny vzniku svahových pohybů	3
2.2. Druhy svahových pohybů	5
2.2.1. Klasifikace dle mechanismu a rychlosti svahových pohybů	5
2.2.2. Klasifikace dle dalších kritérií	6
2.3. Sanační opatření	6
2.3.1. Úprava tvaru svahu	7
2.3.2. Odvodnění svahu	8
2.3.3. Sanace rostlinným porostem	9
2.3.4. Zpevňování hornin a zemin	10
2.3.5. Ochrana povrchu svahu před zvětráváním a erozí	11
2.3.6. Technické stabilizační a sanační opatření	11
3. Charakteristika posuzované lokality	15
3.1. Lokalizace	15
3.2. Popis svahu	16
3.3. Geomorfologie	16
3.4. Svahové nestability v okolí zájmové lokality	17
3.5. Geologické poměry	18
3.6. Hydrogeologické poměry	20
3.6.1. Vody podzemní	20
3.6.2. Povrchové vody	21
4. Analýza stávajícího stavu, včetně matematického modelu	23
4.1. Rekognoskace terénu	23
4.2. Geodetické měření	24
4.3. Vrtná prozkoumanost	25
4.4. Dosud realizovaná sanační opatření ke stabilizaci svahu	27
4.5. Analýza stávajícího stavu	30
5. Modelová analýza stávajícího stavu	31
5.1. Podklady pro tvorbu matematického modelu	31
5.2. Tvorba matematického modelu	34
5.3. Modelová analýza stávajícího stavu	36
5.3.1. Fáze 1 - iniciační fáze	36

5.3.2.	Fáze 2 – stávající stav	39
6.	Návrh variantních sanačních opatření	43
6.1.	Návrh prvního sanačního opatření pomocí kotvených gabionových zdí a hřebíkování svahu.	45
6.2.	Návrh druhého sanačního opatření pomocí mikropilot	47
6.3.	Návrh třetího sanačního opatření pomocí mikropilot, kotvených mikropilot a hřebíkování svahu.....	48
6.4.	Návrh čtvrtého sanačního opatření pomocí mikropilot a kotvených mikropilot	50
7.	Modelová analýza navržených variant sanací.....	52
7.1.	Modelová analýza prvního sanačního opatření	55
7.2.	Modelová analýza druhého sanačního opatření.....	57
7.3.	Modelová analýza třetího sanačního opatření	59
7.4.	Modelová analýza čtvrtého sanačního opatření.....	61
8.	Porovnání jednotlivých variant sanací	63
9.	Návrh geotechnického monitoringu.....	66
10.	Závěr	67
11.	Seznam použité literatury a podkladů	69
12.	Seznam obrázků.....	72
13.	Seznam vzorců	73
14.	Seznam tabulek.....	73
15.	Seznam příloh	73

Seznam použitého značení

a, b	návrhové rozteče tyčí ve směrech x a y
c	soudržnost
c'	výpočtová soudržnost
c''	soudržnost hřebíků (kotev)
c_{ef}	efektivní soudržnost
$c_{pův}$	původní soudržnost
c_r	soudržnost na mezi porušení
$c_{soudrž}$	celková soudržnost oblasti
E	Youngův model pružnosti při zatěžování
E_{def}	Youngův model pružnosti při deformaci
E_{ur}	Youngův model pružnosti při odlehčování
F	únosnost hřebíku
F2 CG	jíl štěrkovitý
G5 GC	štěrk jílovitý
k_x, k_y	filtrační součinitel
$L_{spacing}$	rozpětí kotev
MKP	metoda konečných prvků
ΣM_{sf}	stupeň stability
R5, R6, R4	třídy hornin
$ u $	celkový posun
w	součin objemové tíhy a plochy prvku na metr
γ	objemová hmotnost horniny
γ_{sat}	saturovaná objemová hmotnost horniny
ν	Poissonovo číslo
φ	úhel vnitřního tření
φ_{ef}	efektivní úhel vnitřního tření
φ_r	úhel vnitřního tření na mezi porušení

1. Úvod

Svahové pohyby jsou nedílnou součástí procesů v krajině. Významně se podílejí na utváření georeliéfu a rázu krajiny. Patří však mezi nejnebezpečnější jevy, převážně pro svou ničivou sílu a nepředvídatelnost. Proto je sledování a zajišťování potencionálních sesuvných území i aktivních sesuvů běžnou součástí geotechnické praxe.

Ke svahovým pohybům dochází při porušení stability svahu přírodními faktory či lidskou činností. Stabilitou svahu se rozumí rovnováha sil působících na svahový materiál. Míru stability tělesa uvádí stupeň stability. Vznik svahových pohybů je ovlivněn geologickou strukturou, hydrogeologickými a klimatickými poměry, morfologií území, ale i dalšími zásadními faktory jako např. změna sklonu svahu, zvětšení výšky svahu, přitížení svahu, otřesy a vibrace či změna vegetačního pokryvu.

Účelem sanačních opatření je zvýšení stupně stability svahu. Je třeba vyloučit nebo alespoň minimalizovat rizika sesuvu svahu. Provádí se jak na nově vytvořených svazích, tak i na dříve vzniklých, vyžadujících sanaci.

Cílem diplomové práce je posouzení stability pravostranného svahu řeky Bečvy ve Vsetíně, v řkm 20,000 – 20,200 a vypracování návrhu nezbytných stabilizačních opatření.

V úvodu práce je ve stručnosti obecně popsána problematika svahových sesuvů a možnosti jejich řešení. Další část se zabývá popisem lokality daného svahu z hlediska geomorfologického, geologického a hydrogeologického. Součástí popisu jsou i výsledky vlastní průzkumné činnosti a zhodnocení stávajícího stavu řešeného svahu. Dále je pak v programu PLAXIS 2D na základě zaměření svahu a vrtné prozkoumanosti, vypracován matematický model řešeného svahu, který posuzuje stávající stav svahu pomocí metody konečných prvků. Na základě analýzy stávajícího stavu je navrženo několik variant sanačního opatření, která přispějí ke stabilizaci daného svahu. Pro každou variantu je následně provedena taktéž modelová analýza. Dle výstupů z matematických modelů jsou tato opatření navzájem srovnána a zhodnocena s ohledem na dosaženou stabilitu svahu. V poslední části jsou vyvozeny obecné závěry týkající se posuzovaného svahu.

2. Svahové pohyby

Svahové pohyby se definují jako pohyb zemních a skalních hmot směrem dolů vlivem gravitace. Tyto pohyby jsou obvykle velmi pomalé, pouhým okem nezaznamenané, nicméně hrají významnou roli při utváření georeliéfu a rázu krajiny. V některých případech však může dojít k náhlým rychlým pohybům, které mohou mít katastrofální následky v souvislosti s lidským zdravím nebo ekonomickými ztrátami.

Ke svahovým pohybům dochází při porušení stability svahu přírodními faktory či lidskou činností. Stabilitou svahu se rozumí rovnováha sil působících na svahový materiál. Míru stability tělesa uvádí stupeň stability. Je dán poměrem hodnot pasivních sil, které se snaží pohyb zabránit (pevnost horniny, tření na vytvářející se smykové ploše) a sil aktivních, vyvolávajících pohyb (gravitace, hydrodynamický tlak). K porušení stability svahu tedy dochází v okamžiku, kdy převažují účinky aktivních sil nad silami pasivními. Z geologického hlediska není žádný svah trvale stabilní.

2.1. Příčiny vzniku svahových pohybů

Při posuzování stability svahu je důležité zjistit příčiny vzniku svahových pohybů. Vznik svahových pohybů je ovlivněn geologickou strukturou, hydrogeologickými a klimatickými poměry, morfologií území, ale i dalšími zásadními faktory:

- **Změna sklonu svahu**, způsobená přirozenou cestou (např. eroze paty svahu u vodních toků) nebo nerozvážnou lidskou činností (např. podkopáním svahu). Se zvyšujícím se sklonem svahu se zvětšuje napětí ve smyku.

- **Zvětšení výšky svahu**. Následkem erozní činnosti či prohlubování údolí výkopovými pracemi se uvolňují boční tlaky a vznikají pukliny vedoucí rovnoběžně s povrchem svahu. Do puklin následně vniká povrchová voda, která dále oslabuje svah.

- **Přetížení svahu** násypy, haldami nebo skládkami zapříčiňuje nárůst smykových napětí a vzrůst pórového tlaku. V jílovitých zeminách dochází ke zmenšení pevnosti ve smyku. Čím rychlejší přetížení je, tím více nebezpečí narůstá.

- **Otřesy a vibrace**, jejichž následkem vznikají v horninách kmity různé frekvence a dochází k dočasným změnám napětí. Tyto změny mohou narušit stabilitu svahu. V našich podmínkách se především jedná o výbuchy velkých náloží a otřesy strojů. U málo zpevněných písků a spraší může dojít k porušení intergranulární vazby, což má za následek

zmenšení soudržnosti. Při otřesech v oblasti jemně zvodněných písků a citlivých jílů může dojít k přemístění či pootočení zrn a nastane náhlé ztekucení.

- **Změny obsahu vody.** Voda z atmosférických srážek proniká do puklin, kde vyvolává vznik hydrostatického tlaku. V zeminách díky zvýšení pórového tlaku dochází ke snižování smykové pevnosti. V období vydatných dešťů se často opakují sesuvné pohyby. V období sucha se jílovité zeminy vysušují a smršťují. Což má za následek vznik trhlin, do kterých proniká voda a snižuje se soudržnost.

- **Působení podzemní vody** ovlivňuje stabilitu svahu. Příčinou může být působení tlaku proudící podzemní vody na částice zemin. Rychlé změny hladiny podzemní vody způsobují vzrůst pórového tlaku a může dojít k náhlému ztekucení. Působením proudící podzemní vody v jemném písku a siltu se vyplavují částice zeminy ze svahu a vznikají podzemní (sufózní) dutiny. Dutiny mají za následek snížení soudržnosti a tedy i snížení pevnosti hornin. Dále se zde může nacházet napjatá hladina podzemní vody, která působí na nepropustné vrstvy v nadloží vztlakem.

- **Činnost mrazu** zapříčiňuje zvětšení objemu vody v trhlinách a dochází k rozšíření starých trhlin a ke vzniku nových. U rozpukaných hornin se snižuje soudržnost. V jílovitých a jílovitopísčitých zeminách se utváří ledové vrstvičky, které při tání způsobují nárůst obsahu vody v povrchové vrstvě, a ta rozbředá. Mrznutím vody na povrchu se zhoršuje odtok vody ze svahu, a tím se postupně vzdouvá hladina podzemní vody až k porušení rovnováhy.

- **Mechanické a chemické zvětvárání** porušuje soudržnost hornin.

- **Chemické změny hornin** (hydratační pochody, výměna iontů v jílech) způsobené prosakující vodou. Vyskytují se zejména u glaukonitických pískovců a jílů. U nás se tedy jedná převážně o oblasti moravských Karpat.

- **Změna vegetačního pokryvu.** Při odstranění vegetačního pokryvu dochází ke snížení stability svahu. Jelikož kořenový systém spotřebovává část podzemní vody a udržuje stabilitu svahu mechanickým působením. [11] [12]

2.2. Druhy svahových pohybů

Svahové pohyby se mohou klasifikovat z mnoha hledisek, jak je dále uvedeno. U nás je ale nejčastější dělení svahových pohybů dle mechanismu a rychlosti pohybu.

2.2.1. Klasifikace dle mechanismu a rychlosti svahových pohybů

Svahové pohyby dělíme na základní čtyři typy:

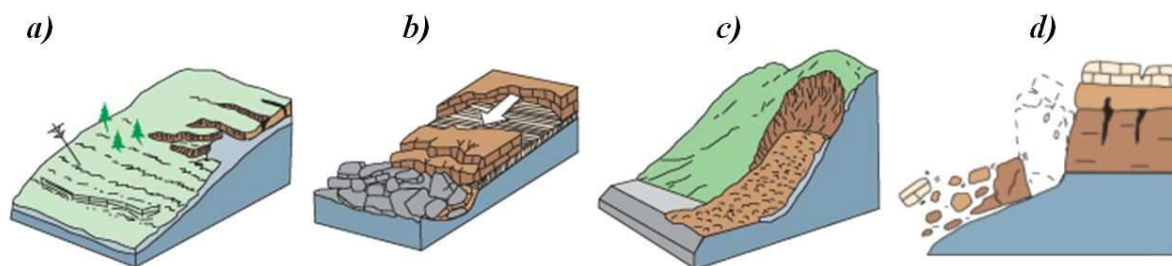
- **Ploužení** je charakterizováno dlouhodobým, plynulým svahovým pohybem (*Obr. 1a*). Rychlost pohybu je v řádu milimetrů za rok. Rozhraní mezi pohybující se hmotou a jejím podloží je málo zřetelné. Ploužení můžeme rozdělit na dva typy, a to podpovrchové a povrchové. Podpovrchové ploužení způsobuje rozvolňování svahů, gravitační zvrásnění a blokové pohyby. Povrchové ploužení se vyznačuje pomalými nerovnoměrnými pohyby horninových hmot vlivem změn teplot, vlhkosti či působení živočichů a rostlin. Projevem bývá např. ohýbání kmenů stromů (opilé stromy), narušováním statiky staveb, atd. Může být počáteční fází pro sesouvání, stékání či říčení.

- **Sesouvání** je relativně rychlý, krátkodobě klouzavý svahový pohyb podél jedné nebo více průběžných smykových ploch (*Obr. 1b*). Rychlost pohybu dosahuje centimetrů až metrů za den. U sesouvání se částice pohybují v bloku jako jeden celek a část hmot se nasune na původní terén v předpolí. Výslednou formou sesuvného pohybu je sesuv. Sesuvy je možné rozdělit podle tvaru smykové plochy na rotační, planární, rotačně planární a translační anebo podle plošného tvaru na plošné, proudové a frontální. Sesouvání může být počáteční fází pro stékání či říčení.

- **Stékání** je rychlý, krátkodobý pohyb vodou nasycených, rozbředlých horninových hmot (*Obr. 1c*). Rychlost stékání dosahuje až kilometr za hodinu. Hmoty, které se uvolnily z odlučné oblasti, odtékají ve formě proudu po povrchu terénu na velkou vzdálenost. Stékající hmota je ostře oddělena od neporušeného podloží. Průběh proudu bývá předem stanoven např. korytem potoka nebo probíhající erozní brázdou. V konečné fázi pohybu může přecházet do pomalého ploužení.

- **Říčení** je rychlý krátkodobý pohyb horninových hmot na strmých svazích (*Obr. 1d*). Rychlost říčení dosahuje několika metrů za sekundu, přičemž se postižené hmoty rozvolní a ztrácejí krátkodobě kontakt s podloží. Často dochází v určité části i k volnému pádu hornin. Tato skutečnost je jedním ze zásadních rozdílů oproti sesouvání. Další odlišností je,

že k odlomení horniny nedochází podél výrazné smykové plochy. Řícení může v počáteční fázi projevit jako ploužení či sesouvání. [12] [3]



Obr. 1: Svahové pohyby: a) ploužení, b) sesouvání, c) stékání, d) řícení [13]

2.2.2. Klasifikace dle dalších kritérií

Svahové pohyby a jejich výsledné formy se mohou členit dle dalších kritérií:

- **stupeň aktivity:** aktivní (živý), dočasně uklidněný, stabilizovaný (zastavený)
- **věk:** recentní (současný, čerstvý), fosilní (starý)
- **geneze:** přirozený (samovolný), uměle vyvolaný (antropogenní)
- **vývojové stadium:** iniciační (počáteční), rozvinutý (pokročilý), finální (závěrečné)
- **opakovatelnost:** jednorázový, periodický
- **tvar půdorysu:** proudový, frontální, plošný, nepravidelný
- **zřetelnost morfologické formy:** zřetelná svahová deformace, zastřená svahová deformace, pohřbená svahová deformace
- **pozice vůči dalším svahovým deformacím:** samostatná svahová deformace, složená svahová deformace, součást složené svahové deformace [14]

2.3. Sanační opatření

Účelem sanačních opatření je zvýšení stupně stability svahu. Je třeba vyloučit nebo alespoň minimalizovat rizika sesuvu svahu. Provádí se jak na nově vytvořených svazích tak i na dříve vzniklých vyžadujících sanaci. Pokud již k sesuvu došlo, je prioritou svah zabezpečit proti dalším pohybům. V každém případě je však nutné minimalizovat fyzický zásah do území. Pro návrh správné a účinné metody sanace je nutná znalost geologických a hydrologických poměrů území.

Při rozsáhlých sanačních opatřeních je potřeba provést inženýrskogeologický průzkum, na jehož základě se vypracuje projekt sanačních prací, který musí odpovídat závažnosti porušení svahu. Volbu vhodné sanační metody ovlivňuje typ a rozsah svahové deformace, zda se jedná o svahovou deformaci skalní, či zemního tělesa a v neposlední řadě i finanční hledisko. Obvykle se používá kombinace několika druhů sanačních opatření, čímž se zajistí větší stabilita svahu. Každá navržená sanační metoda by měla být ověřena stabilitními, případně i statickými výpočty.

Sanační opatření můžeme dle principu realizace a způsobu zabránění svahovým deformacím rozdělit do několika skupin:

- úprava tvaru svahu
- odvodnění
- sanace rostlinným porostem
- zpevňování hornin a zemin
- ochrana svahu před zvětráváním a erozí
- technická stabilizační opatření

Aby byl dále zajištěn bezpečný stav svahu, je třeba sestavit plán kontroly a údržby vybudované ochrany. Pravidelnou údržbou a opravami poškozených sanačních prvků se zajišťuje jejich funkčnost, stálá účinnost a zachovává se jejich životnost.

2.3.1. Úprava tvaru svahu

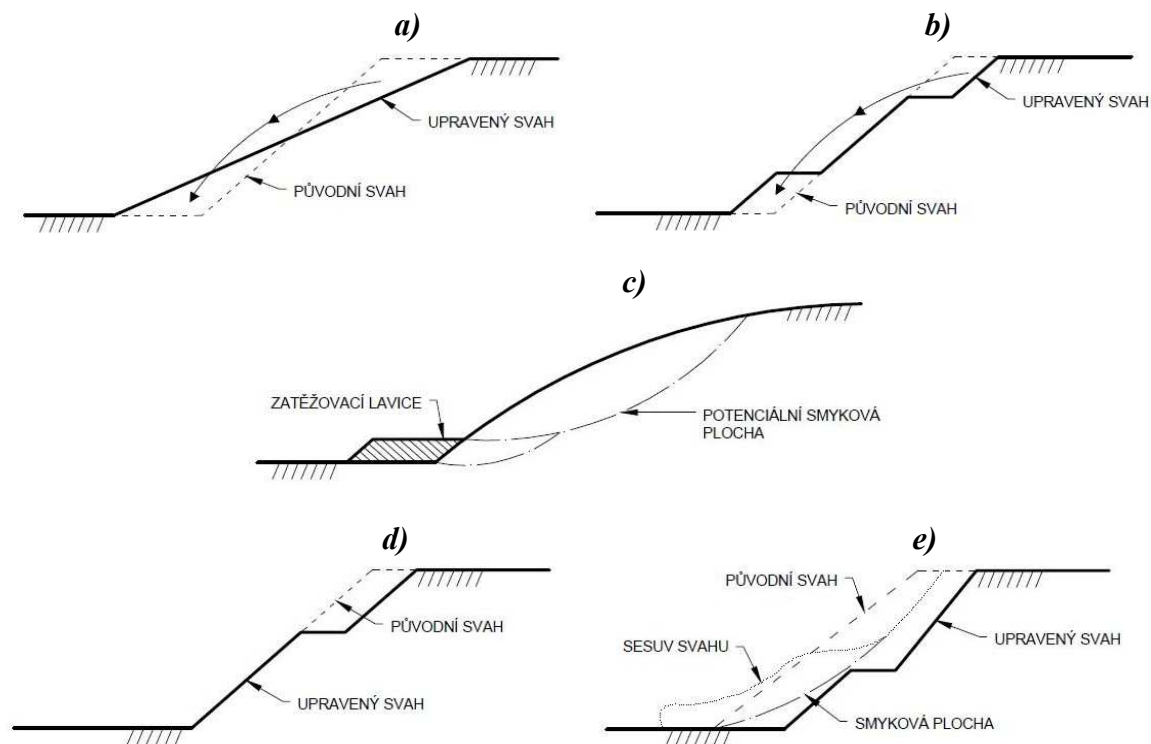
Úprava tvaru svahu patří mezi jednoduché a velice rozšířené sanační metody. Její výhodou je nenáročná příprava, mechanizace při jejím provádění a prakticky bezúdržbovost. Nevýhodou je ale větší přesun hmot.

Podstatou této metody je změna rozložení hmot na svahu. Zvýšení stability svahu se dosahuje zvýšením pasivních sil v akumulacích oblastech sesuvu (přetížením), nebo snížením aktivních sil (odlehčením) v oblastech odlučných.

Do této sanační metody se zařazují:

- zmírnění sklonu svahu (*Obr. 2a*)
- přemístění materiálu z horní části svahu k patě (*Obr. 2b*)
- přítěžovací násypy v patě svahu (*Obr. 2c*)
- odlehčovací zářezy v horní části svahu (*Obr. 2d*)
- odtěžení sesunutého materiálu (*Obr. 2e*)

Je ale třeba dát pozor, aby při odtěžování nedošlo ke zhoršení stability vyšší části svahu nad sesuvem. Při budování přítěžovacích násypů v patě svahu je pak důležité, aby byly řádně odvodněny. [11] [15]



Obr. 2: Úprava tvaru svahu: a) zmírnění tvaru svahu, b) přemístění materiálu z horní části svahu k patě, c) přítěžovací násyp v patě svahu, d) odlehčovací zářezy v horní části, e) odtěžení sesunutého materiálu

2.3.2. Odvodnění svahu

Odvodnění svahů se dělí na povrchové, které zabraňuje vniknutí srážkových vod do svahu a na hloubkové, které odvádí vodu ze zemního tělesa. Účelem odvodnění je snížit napětí vody v pórech pro zvýšení smykové pevnosti zeminy.

Povrchové odvodnění patří k prvním opatřením při stabilizaci svahu. Ve většině případů samo o sobě nestačí ke stabilizaci sesuvů, ale je důležitou součástí sanačních prací a může podstatně přispět k vysušení materiálu a tím k uklidnění sesuvu. Pro povrchové odvodnění se využívá těchto opatření:

- obvodové příkopy nad odlučnou oblastí
- otevřené odvodňovací příkopy
- drenážní potrubí
- drenážní žebra (rýhy jsou vyplněny štěrkem)

- utěsnění trhlin a zarovnání povrchu území
- překrytí svahu fóliemi
- vytvoření nepropustného pokryvu bitumenem apod.

Hloubkové odvodnění svahu je jedním z nepoužívanějších sanačních opatření. Jedná se již o rozsáhlejší zásah do svahového tělesa. Měl by mu předcházet alespoň geologický a hydrogeologický průzkum. Hloubkové odvodnění se provádí jako soustava odvodňovacích prvků. Aby byla zajištěna správná funkce, měly by prvky zasahovat až do propustné vrstvy v podloží. Pro hloubkové odvodnění se využívá těchto opatření:

- vertikální odvodňovací vrty (čerpací studně)
- horizontální odvodňovací
- odvodňovací štoly
- odvodňovací štěrkové stěny
- elektroosmóza

Pro svislé odvodňovací vrty (čerpací studně) je možné použít vrty průzkumných prací, které musí být ale většího průměru. Čerpací studny je vhodné budovat v případech, kdy by byly horizontální vrty náročné, nebo kde je riziko jejich ucpání. Odvodňování svislými čerpacími vrty je však velmi nákladné a problematické vzhledem ke svahovým pohybům, kterými může být vrt zničen.

Horizontální vrty jsou realizovány většinou dovrchně s mírným sklonem, což snižuje možnost zanesení vrtu.

Méně častá metoda odvodnění je pomocí elektroosmózy. Je využívána v málo propustných, zvodnělých zeminách. Princip této metody spočívá v zavedení stejnosměrného proudu do zeminy, který uvolňuje vázanou vodu. Uvolněná voda je následně čerpána mimo sesuvné území.

Přírozenou, ale omezenou možností odvodnění zeminového svahu je výsadba vegetace, která navíc svým kořenovým systémem zpevňuje svrchní část svahu. [11] [15]

2.3.3. Sanace rostlinným porostem

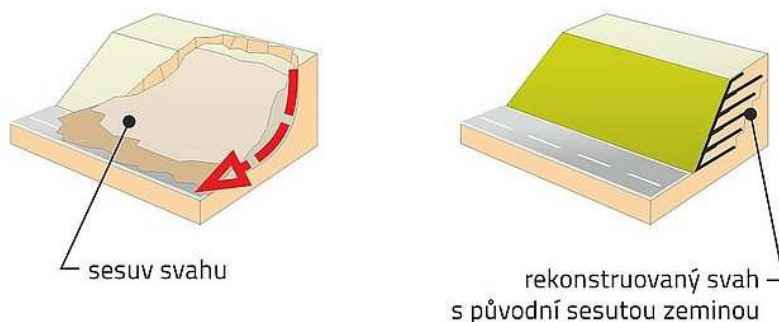
Tento typ sanace je účinný hlavně u mělkých sesuvů. U sesuvů s hluboko uloženými smykovými plochami nelze tuto metodu efektivně využít, pouze se může částečně zlepšit stabilita v důsledku omezení pronikání povrchové vody do svahu.

Rostlinný porost na svazích plní dvě důležité funkce. První je schopnost prorůst zeminu soustavou kořenů a tím ji mechanicky stabilizovat. Proto jsou vhodné dřeviny s hlubokými

kořeny. Druhou funkcí je vysoušení svahu, jelikož kořeny vysazených dřevin spotřebovávají část podzemní vody a tím přispívají ke stabilitě a vysoušení svahů. Mezi vhodné dřeviny patří např. vrba, topol, olše či bříza. Naopak jako nevhodné se jeví jehličnaté dřeviny, zejména smrky. Důvodem jsou mělké kořeny a jejich roční přírůstky jsou značné, takže nepřiměřeně zatěžují povrch oblastí. [11]

2.3.4. Zpevňování hornin a zemin

Účelem zpevňování hornin a zemin je zvýšení jejich smykové pevnosti, čímž dochází k růstu pasivních sil. Mezi často využívané metody zpevňování v dnešní době patří vyztužování zemin. Cílem této metody je spolupůsobení implementované struktury se zeminou a tím zvýšení její smykové pevnosti a stability. Toto sanační opatření se využívá např. při porušení svahu v důsledku sesuvu (*Obr. 3*). Sesutá zemina se dále využije, zpevní se pomocí vrstev výztužných prvků (např. geomřížemi) tak, aby protínaly smykovou plochu. Využití sesuté zeminy sníží náklady na odvoz a dovoz materiálu na stavenišť. Při vyztužení zemin je možné docílit sklonu svahu až 70° . U svahů se sklonem do 50° není nutné ve většině případů zlepšovat líc svahu. U sklonů nad 50° se čelo obalí výztužnou geomříží nebo se použijí ocelové panely napojené na výztužné geomříže. [16]



Obr. 3: Vyztužení zemin – sesutá zemina vyztužena vrstvami výztužných prvků [16]

Další metodou ke zpevnění zemin i hornin je injektáž, jejíž funkce je převážně zpevňující, případně utěšňující proti průsaku vody. Používají se injekce jílové (bentonit), cementojílové, cementové, nebo chemické. U jemnozrnných zemin se dále používají vápenné piloty, které pomáhají snižovat vlhkost a zvyšovat pevnost.

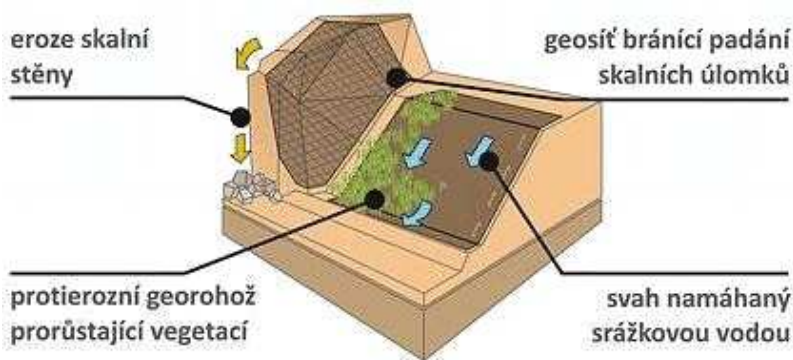
Do této skupiny sanačních metod také patří tepelné zpevňování zemin, zmrazování zemin, elektrotechnické zpevňování nebo rozrušení již vzniklých kluzných ploch odpalem náloží trhavin ve vrtu. V praxi se tyto metody používají zřídka. [11] [15]

2.3.5. Ochrana povrchu svahu před zvětráváním a erozí

Účelem této skupiny sanačních metod je zamezit zhoršování mechanických vlastností hornin a zemin vlivem zvětrávání a působení eroze. Ochrana povrchu svahu však nezvyšuje celkovou stabilitu. Volba ochrany svahu závisí na tom, zda je svah tvořen zeminami nebo skalním masivem (*Obr. 4*). Je třeba znát intenzitu namáhání, sklon a délku svahu, typ zeminy a geologický podklad. Ochrana může být trvalá či dočasná.

Pro dočasnou protierozní ochranu zeminového svahu se navrhuje geotextilie (jutové, kokosové sítě), kokosové rohože a ekotextilie. Tyto prvky ochrání svah do té doby, než zesílí rostlinný porost, poté se samovolně rozloží. Životnost se předpokládá do 5 let. Výhodou dočasného zpevnění je jednoduchá instalace a manipulace, nezatěžuje životní prostředí a umožňuje aplikaci na jakýkoliv sklon svahu.

Pro trvalou protierozní ochranu zeminového svahu se používají georohože, geobuňky, kotvené obkladní zdi či rostlinný porost. Pro ochranu břehů vodních toků se používají vlnolamy, případně kamenné dlažby. Pro skalní stěny se užívají pláště ze stříkaného betonu, torketové omítky, kotvené obkladové stěny či geomříže. Životnost trvalé protierozní ochrany je odhadována na více než 10 let. [16]



Obr. 4: Ochrana povrchu svahu před zvětráváním a erozí [7]

2.3.6. Technické stabilizační a sanační opatření

Tato skupina stabilizačních opatření zabezpečuje nebo zvyšuje stabilitu zeminových i skalních svahů. Jedná se o metody využívající převážně silového působení technických prostředků, ve smyslu kotvení, opření apod. Jednotlivé metody se často kombinují pro zvýšení jejich účinku.

Do této skupiny opatření můžeme zařadit:

- a) opěrné a zárubní zdi
- b) pilotové a štětové stěny
- c) kotvení

a) Opěrné a zárubní zdi

Opěrná zed' slouží k zabránění sesuvů. Umožňuje opření svahu do tuhé konstrukce a může být založena na pilotách, stabilizovaná kotvami nebo navržena jako prostá gravitační zed'. Gravitační tížná zed' odolává zemnímu tlaku pouze vlastní tíhou. Většinou má typický lichoběžníkový tvar. Opěrné zdi je vhodné odvodnit v prostoru za zdí, který se vyplní kamennou rovnatinou, tzv. záhozem. Voda tak může volně proudit a je dále sváděna do odtokových žlabů nebo rigolů. Materiálem je obvykle beton, v dnešní době se však hojně používají konstrukce z vyztužené zeminy, nebo gabiony.

Zárubní zed' slouží k zabezpečení zářezových těles a výkopů. Oproti gravitační zdi odolává menším zemním tlakům. Vodorovné tlaky je možné zachytit kotvami. Odvodnění se provede stejným způsobem jako u opěrných zdí, jen se pro zásyp použije štěrkopísek.

Gabionová konstrukce je složena z drátěných košů, zpravidla vyplněných lomovým kamenem, případně recyklátem či zeminou, ukládaných za pohledový kámen (*Obr. 5*). Gabiony lze snadno přizpůsobit nepravidelnému povrchu, kladou vysoký odpor tlakovému i tahovému namáhání, jsou propustné. Tím, nedochází k narušení vodního režimu. Gabiony je možné využít jako opěrné i zárubní zdi k sanaci svahů. [10]



Obr. 5: Gabionová konstrukce [17]

b) Pilotové a štětové stěny

Pilotovou stěnu tvoří soustava pravidelně rozmístěných pilot (*Obr. 6*). Obvykle se jedná o velkopůměrové piloty s výztuží z betonářské oceli pro lepší přenesení vodorovného napětí, jež na ně působí. U pilot budovaných pro stabilizaci svahu je jejich kořen zavrtáván hluboko pod smykovou plochu, aby byla zaručena její stabilita. Při větším zatížení se piloty kotví do svahu nebo se provádí ve více řadách. V dnešní době se často používají místo zárubních zdí. Výhodou je možnost zřízení stěny před dokončením zářezu, použití mechanizace a menší tloušťka než u zárubních zdí. Jedná se ale o relativně drahou metodu a její použití není vhodné v nepřístupném terénu, vzhledem k obtížnému přesunu těžkých pilotových souprav. Pilotové stěny je třeba odvodnit, protože tvoří přirozenou hráz proudění vody.

Pokud je smyková plocha sesuvu mělká, je možné použít *mikropiloty*. Mikropiloty jsou tvořené maloprofilovým vrtem, do kterého se vloží ocelová trubka a kořen mikropiloty se zainjektuje cementovým mlékem. Výhodou mikropilot je možnost použití v málo přístupných podmínkách díky malé vrtné soupravě. Nevýhodou je ale vysoká cena, vzhledem k vysoké spotřebě oceli a malá tuhost štíhlých prvků.

Ocelové štětové stěny jsou tvořeny ocelovými profily (štětovnicemi), které jsou vzájemně spojeny zámky (*Obr. 6*). Do zeminy se vhání pomocí beranění nebo vibroberanění. Využívají se k rychlé stabilizaci u menších sesuvů. Stejně jako pilotové stěny je vhodné je odvodnit. Výška stěn je omezena na 3,5m. Vyšší stěny je třeba vyztužit kotvami. [15] [18]



Obr. 6: Popis zleva: pilotová stěna, ocelová štětová stěna [19] [20]

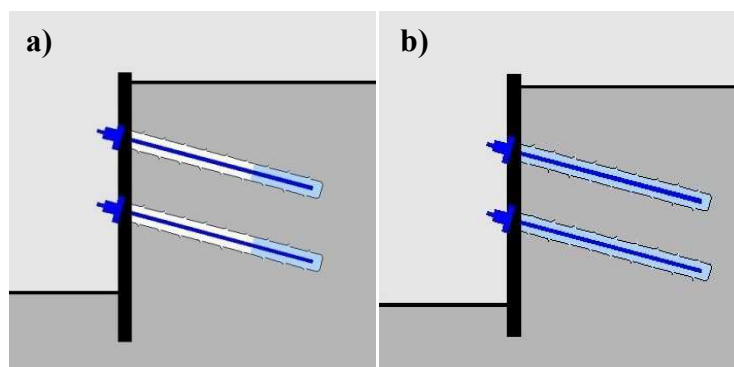
c) Kotvení

Tato sanační metoda spočívá v zachycení povrchových rozrušených vrstev svahu soustavou kotevních prvků. Síly způsobující pohyb vrstev před předpokládanou smykovou plochou se tak přenášejí do neporušené oblasti za touto smykovou plochou. Mezi kotevní prvky patří kotvy, svorníky nebo hřebíky.

Při použití *kotev* jsou do svahu upínány pramencové či tyčové tahové prvky, běžně délky větší než 5 metrů. Tahová síla, vyvozovaná v hlavě kotvy, se přenáší táhlem do kořene, který je injektáží upnut v horninovém prostředí (*Obr. 7a*). Kotvy se po instalaci předpínají.

Při stabilizaci svahu pomocí *svorníků* se do svahu zavrtávají kratší tyčové tahové prvky, délky menší než 5 metrů. Svorníky lze po instalaci předpínat, pokud je to vhodné.

Hřebíky jsou pak nepředepnuté tyčové prvky obdobné délky jako svorníky. Využívají se zejména v zeminách. Hřebíky přenášejí zatížení do zeminy celou svojí délkou na rozdíl od kotev (*Obr. 7b*). Hřebíkování je možné kombinovat se stříkaným betonem a následným kotvením hřebíků do této vrstvy stříkaného betonu. Hřebíky se do zeminy zarážejí či zavrtávají s dodatečnou cementovou zálivkou. [15] [2]



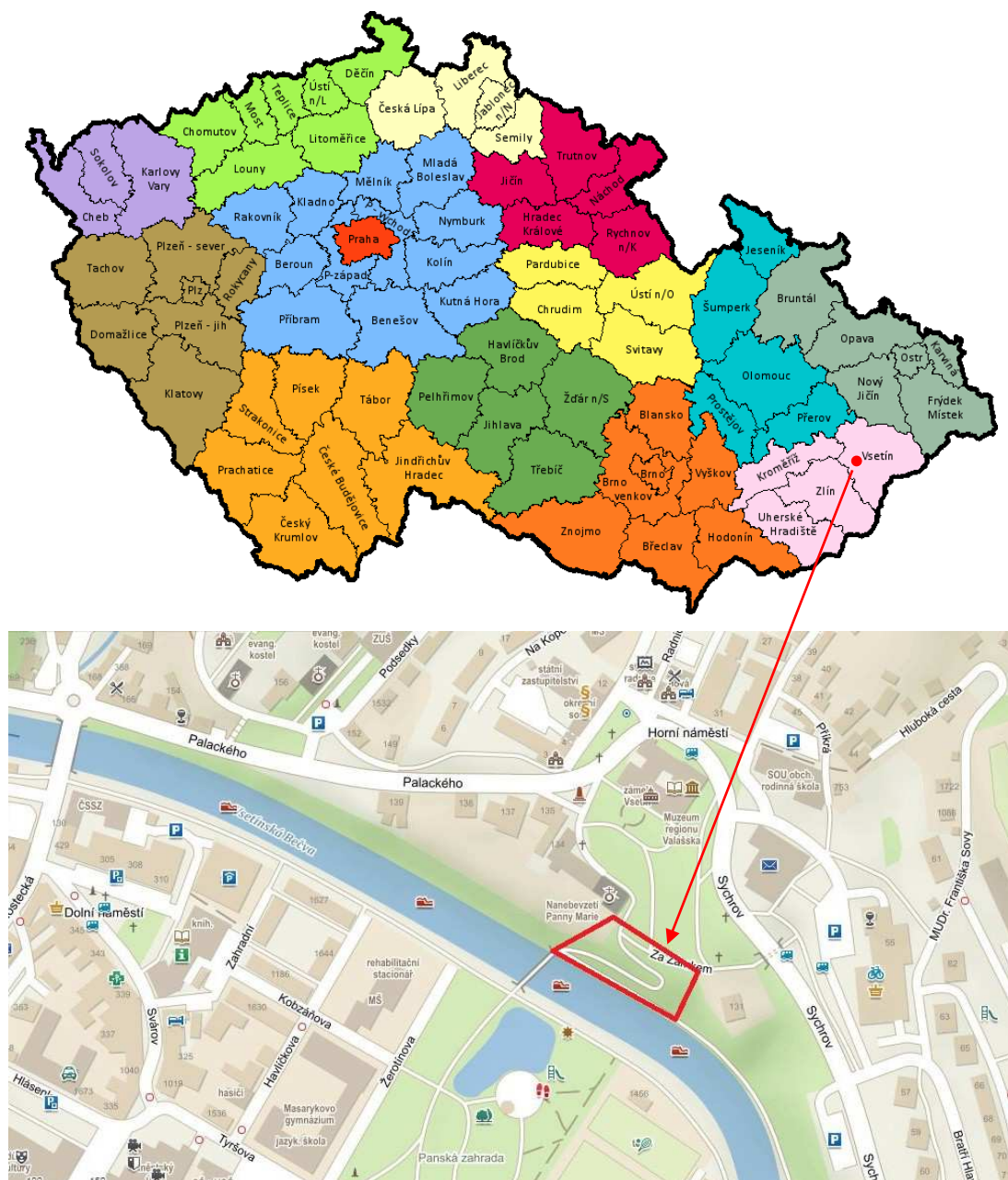
Obr. 7: Kotvení svahu pomocí: a) kotev, b) hřebíků [21]

3. Charakteristika posuzované lokality

3.1. Lokalizace

Posuzovaný svah se nachází ve východní části Vsetína na pravém břehu řeky Vsetínské Bečvy, v řkm 20,000 - 20,200, v blízkosti zámeckých objektů. Jedná se o městskou část Horní Město.

Město Vsetín leží v údolí Vsetínské Bečvy na okraji západní části CHKO Beskydy. Je součástí okresu Vsetín ve Zlínském kraji, na východě České republiky (Obr. 8).



Obr. 8: Lokalizace řešeného svahu [22, úprava autor]

3.2. Popis svahu

Jedná se o svah mezi řekou Vsetínskou Bečvou a zámeckými objekty s převýšením 25 m a sklonem cca 35 - 40° (*Obr. 9*). Pokryv svahu je tvořen travnatým, keřovým i stromovým porostem. Tímto svahem vede pěší cesta. Cesta je pod svahem napojena na lávku přes řeku Bečvu, spojující centrum Vsetína s Horním městem a na cestu podél řeky, která vede k městskému koupališti.



Obr. 9: Letecká mapa řešeného svahu [22, úprava autor]

3.3. Geomorfologie

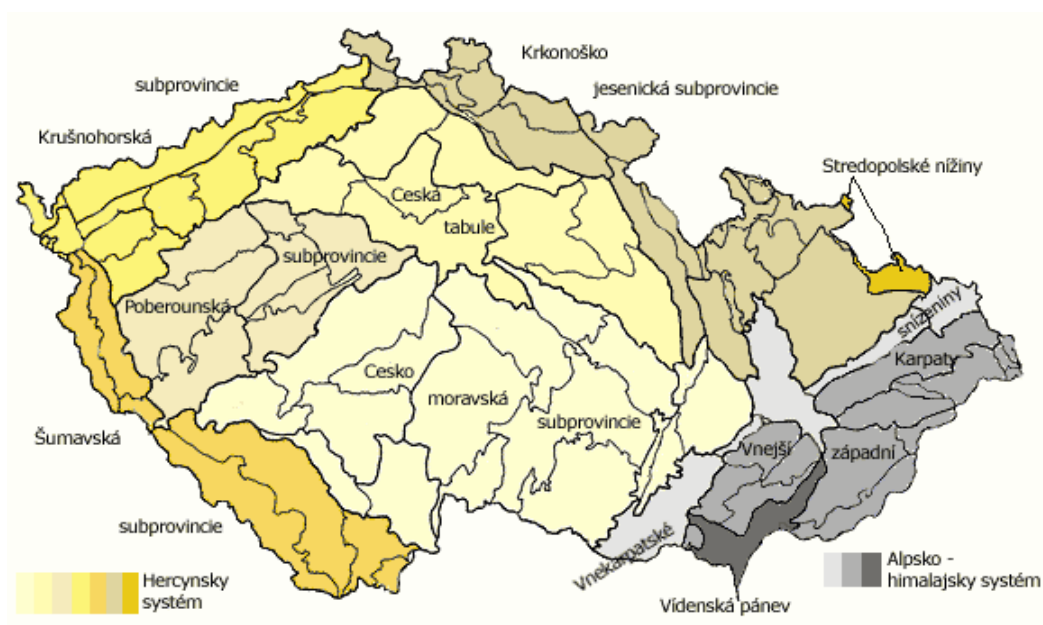
Z hlediska geomorfologie je Česká republika velmi různorodá. Je členěna na dva systémy, Alpínsko-himalájský a Hercynský (*Obr. 10*). Více než tři čtvrtiny území náleží Hercynskému systému. Alpínsko-himalájský systém pokrývá jihovýchodní a východní část území. Systémy se pak dále dělí na subsystémy, provincie, subprovincie, oblasti, celky a podcelky.

Lokalita, v níž se řešený svah nachází, je geomorfologicky rozčleněna na:

- Systém: Alpínsko-himalájský
- Subsystém: Karpaty
- Provincie: Západní Karpaty
- Subprovincie: Vnější Západní Karpaty

- Oblast: Západní Beskydy
- Celek: Hostýnsko-vsetínská hornatina
- Podcelek: Vsetínské vrchy

Oblast zájmového území se nachází v geomorfologickém podcelku Vsetínské vrchy ležícím ve východní části celku Hostýnsko-vsetínské hornatiny. Jedná se o velmi členitý reliéf. Mohutné horské hřbety a hornaté vrchy jsou střídány brázdami, kotlinami a hlubokými údolími. Ploché horské hřbety přechází do strmých svahů, které jsou hustě členěny údolími a stržemi. Pro takový typ reliéfu je charakteristický rozvoj vodní eroze a tvorba sesuvů. Reliéf krajiny dokresluje obnažené skalní pískovcové útvary. Samotná lokalita se nachází v údolí toku Vsetínské Bečvy, která protéká na rozhraní mezi Hostýnskými a Vsetínskými vrchy. [12] [32]



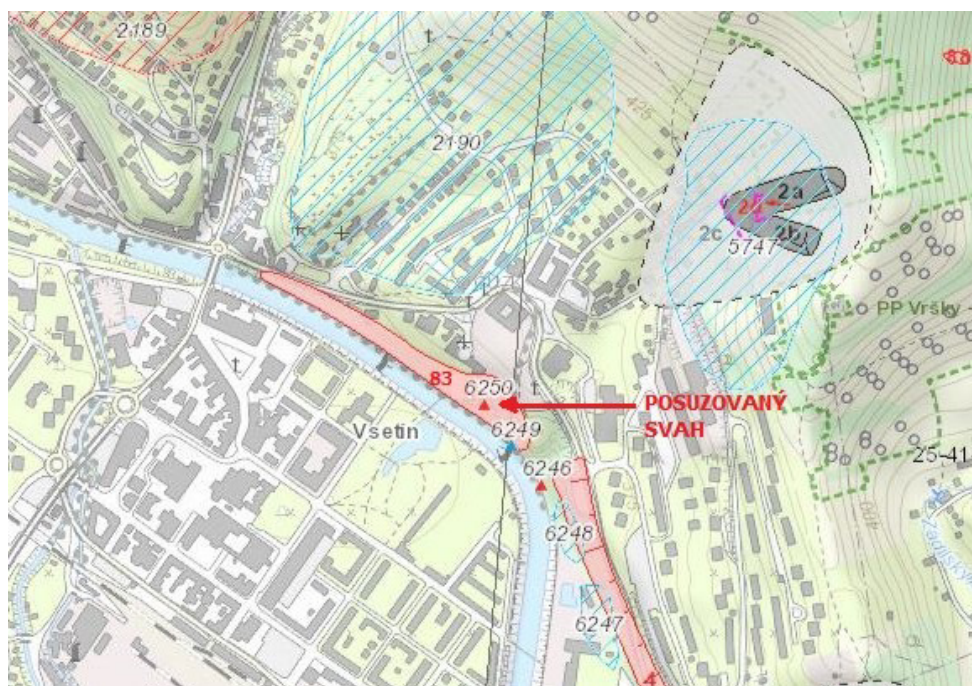
Obr. 10: Geomorfologické členění České republiky [23]

3.4. Svahové nestability v okolí zájmové lokality

Zájmová lokalita se nachází ve Vsetínských vrších, které jsou velmi náchylné k sesuvům půdy. Přímo ve Vsetíně se vyskytuje několik desítek nestabilních svahů. V posuzovaném svahu se nachází bodový aktivní sesuv, který je v databázi svahových nestabilit České geologické služby registrován pod ev. č. 6250 (Obr. 11). Je součástí rozsáhlé svahové nestability č. 83. Jedná se o svah šířky 500 m a délky 80 m, jehož aktivita se projevuje

především nakloněním stromů (tzv. opilé stromy). Za aktivní faktory jsou považovány srážky a nasycení vodou. Z hlediska zařazení ohrožení patří do kategorie III.

V těsné blízkosti řešeného svahu je lokalizován jeden potenciální bodový sesuv označený ev.č. 6249. Přibližně ve vzdálenosti 150 m až 350 m JV od lokality se nachází 1 bodový aktivní sesuv (č. 6246), 2 plošné potenciální sesuvy (č. 6248 a 6247) a svahové nestability s číslem 4. Dále jsou v blízkém okolí (do cca 1,0 km) v archívu Geofondu evidovány celkem 3 sesuvy, pod ev. č. 2190 (stabilizovaný plošný sesuv), 5747 (potenciální plošný sesuv) a 2189 (aktivní plošný sesuv). [24]



Obr. 11: Svahové nestability v okolí posuzovaného svahu [24]

3.5. Geologické poměry

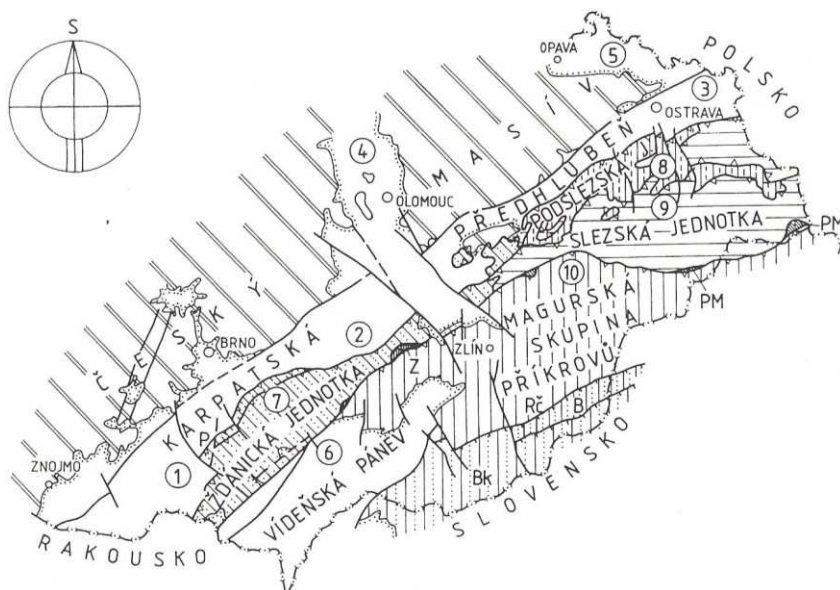
Českou republiku tvoří z regionálně geologického hlediska dva základní geologické celky, a to Český masiv a Západní Karpaty. Tyto dva celky mají poměrně odlišnou geologickou minulost. Součástí Českého masivu jsou Čechy, většina Moravy a Slezska. Východní část Moravy a Slezska pak náleží Západním Karpatům.

Západní Karpaty jsou daleko mladší než Český masiv. K jejich formování došlo až několika fázemi alpinského vrásnění v časovém rozmezí mezi svrchní křídou a terciérem. Naše území pokrývá jen malá část vnějších Západních Karpat, tvořená příkrovy

mezozoických a terciálních hornin. Tyto horniny byly koncem paleogénu nasunuty na JV okraj Českého masivu. Tímto nasunutím se vytvořilo flyšové pásmo. Pro flyš je typické mnohonásobné opakování pískovce, vápence, vápenitého jílovce a jílovce a to v různém poměru.

Vnější část Západních Karpat se dělí na dva akreční flyšové komplexy a karpatskou předhlubeň. Zájmová oblast se nachází ve starším akrečním flyšovém komplexu v račanské jednotce magurského paleogénu (*Obr. 12*). Předkvartérní podloží zájmové lokality je budováno převážně paleogenními horninami. V podloží paleogenních hornin račanské jednotky magurského paleogénu se nachází vrstvy střední a svrchní křídý. Křídové vrstvy vychází hojně na povrch cca 5 km severozápadně od města Vsetín. Stratigraficky nejmladší, ale z hlediska mocnosti nejdominantnější jsou v račanské jednotce magurského paleogénu vrstvy vsetínské. Vsetínské vrstvy, respektive jejich zcela zvětralý obsah byl potvrzen průzkumnými pracemi. Vsetínské vrstvy jsou příznačné převahou pelitické složky nad složkami psamitickými a psefitickými. Jedná se převážně o vápnitý flyš s glaukonitickými pískovci.

Kvartérní pokryv je v zájmovém území reprezentován eluviálními, deluviálními a fluviálními nesoudržnými a soudržnými sedimenty. Eluviální sedimenty jsou představovány zvětralými až rozvětralými nejsvrchnějšími partiemi račanské jednotky magurského paleogénu na eluvia charakteru zemin. Pro deluviální sedimenty je typická pestrá škála uloženin, které vznikly v závislosti na substrátu a tvaru terénu. Jedná se o sutě, kamenná moře, svahové hlíny, přemístěné jíly, atd. Fluviální sedimenty jsou zastoupeny soudržnými a nesoudržnými zeminami. Nesoudržné sedimenty jsou tvořeny výhradně holocenními písčitými šterky, převážně zvodnělými místy výrazně zahliněnými s přítomností vloček a proplátek jemnozrnných zemin. Tato skutečnost byla vrtnými pracemi ověřena. Soudržné sedimenty jsou zastoupeny holocenními povodňovými hlínami. [32] [12]



Obr. 12: Schéma regionálního geologického členění Západních Karpat v České republice: 1 – jižní část předhlubně; 2 – střední část předhlubně; 3 – severní část předhlubně; 4 – Hornomoravský úval a Mohelnická brázda; 5 – opavská pánev; Rč – račanská jednotka; B – bystrická jednotka; Bk – bělokarpatská jednotka; P – pouzdřanská jednotka; PM – předmagurská jednotka; Z – zdounecká jednotka [25]

3.6. Hydrogeologické poměry

3.6.1. Vody podzemní

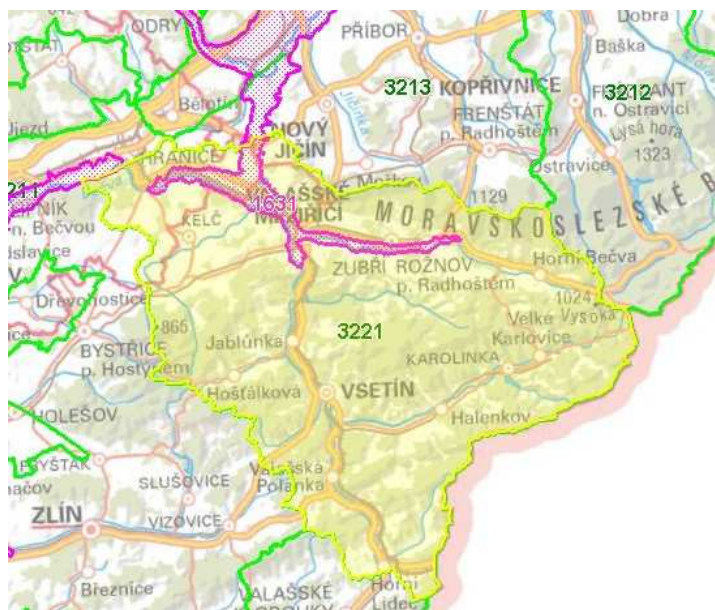
V okolí posuzovaného svahu jsou špatné hydrogeologické poměry s nedostatkem zdrojů podzemních vod. Hlavní příčinou je geologická stavba dané lokality. Je tvořena málo propustnými horninami karpatského flyše, které nevhodně ovlivňují podmínky pro výskyt a oběh podzemních vod.

Okres Vsetín se z velké části nachází v rajonu 3221 - Flyš v povodí Bečvy. Zbylá část okresu pak náleží rajonu 1631 - Fluvialní sedimenty v povodí Bečvy (Obr. 13).

Hydrogeologicky se v předkvartérních formacích uplatňuje místně puklinová propustnost, která je převážně vázána na připovrchové rozvětrané partie paleogenních vrstev. Podzemní voda je také vázána na kvartérní fluvialní štěrkové sedimenty – kolektory s průlinovou propustností.

Z hydrogeologického hlediska je posuzovaný svah součástí:

- Úmoří: Černé moře
- Hlavního povodí: Dunaje
- Povodí: Moravy
- Hydrogeologického rajonu: 3221 (Flyš v povodí Bečvy)



Obr. 13: Mapa hydrogeologických rajonů [26]

Přestože v okrese Vsetín nejsou podmínky pro tvorbu podzemních vod příznivé, lze zde narazit na vývěry podzemní vody - prameny, které jsou často upraveny do studánek. Studánky se v okrese Vsetín nacházejí v docela hojném počtu.

Mezi podzemními vodami se vyskytují i vody minerální. V daném okrese lze najít celkem 12 míst se 14 zřídly sirovodíkových minerálních vod. Vzhledem k faktu, že vydatnost zřídél je velmi malá, nikterak se nevyužívají. [32] [9]

3.6.2. Povrchové vody

Zájmové území je odvodněno Vsetínskou Bečvou, která pramení na svazích Trojačky v nadmořské výšce cca 880 m. Vsetínská Bečva má několik menších přítoků, jako jsou Ratibořka, Rokytenka, Senice, Kychova a Stanovnice. Po 59,5 km dlouhém toku vzniká soutokem s Rožnovskou Bečvou ve Valašském Meziříčí řeka Bečva. Pro okres Vsetín je řeka Vsetínská Bečva nejvýznamnějším tokem, a to jak z hlediska vodního režimu, tak i vlivu na hospodářství. Plocha povodí Vsetínské Bečvy je 734,39 km² a na soutoku s Rožnovskou Bečvou je její průměrný průtok 9,21 m³/s.

Vsetínská Bečva je typická bystřina s velmi rozkolísanými průtoky. V jarních měsících, především v dubnu a březnu, je dosažena nejvyšší úroveň vodní hladiny. Nejnížší úroveň hladiny pak v září. V létě jsou období, kdy je v toku jen málo vody, průtok vody ale prudce stoupá po deštích a velmi rychle může docházet k povodním. Stejně rychle větší průtoky

i povodně opadávají. Povodně vzniklé táním sněhu výrazné nejsou, nebezpečnější jsou obvykle povodně po prudkých jarních či letních srážkách. [12]

Právě kvůli kolísavým srážkám a malé retenční schopnosti hornin, dochází k rozkolísanosti odtoku. To způsobuje nejen nízké hodnoty minimálních průtoků, ale i vysoké hodnoty kulminačních průtoků povodňových vln.

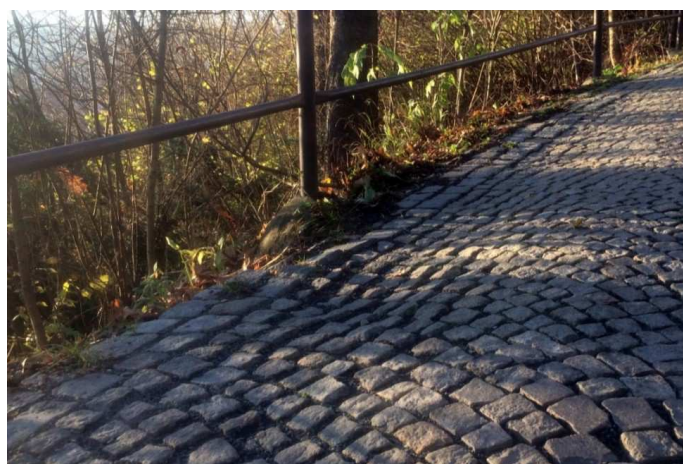
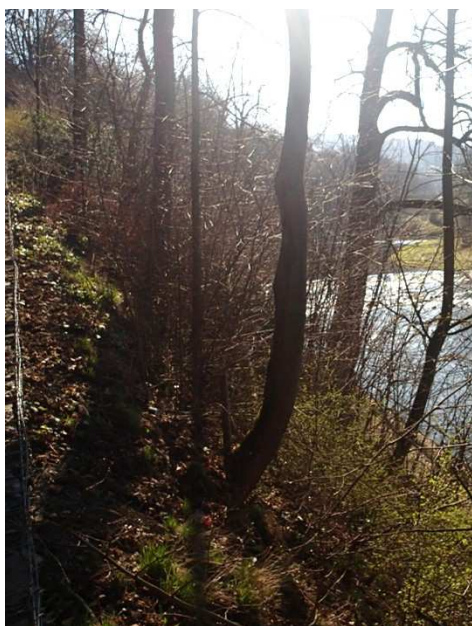
V okrese Vsetín se vyskytuje poměrně malý počet stojatých vod. Nachází se zde tři vodní nádrže. Největší je Stanovnice u Karolinky, která je určena jako zásobárna pitné vody pro Zlínsko a Vsetínsko. Druhou vodní nádrží je Bystřička, která slouží k rekreaci. V případě povodní je schopna zadržet menší povodňové vlny. Nejmenší vodní nádrží je pak Horní Bečva, která je taktéž určena k rekreaci. Dále se v okrese vyskytuje několik rybníků, jezer a rybníčků.

4. Analýza stávajícího stavu, včetně matematického modelu

4.1. Rekognoskace terénu

V posuzované lokalitě byl proveden průzkum za účelem posouzení stávajícího stavu svahu a návrhu sanačních opatření. Jedná se o strmý svah mezi řekou Vsetínskou Bečvou a zámeckými objekty s převýšením 25 m a sklonem cca 35-40°. Svah je protnutý erozními rýhami. Pokryv svahu je tvořen travnatým, keřovým i stromovým porostem. Posuzovaným svahem vede pěší cesta, která je pod svahem napojena na lávku přes řeku Bečvu, spojující centrum Vsetína s Horním městem a na cestu podél řeky, která vede k městskému koupališti.

Jedná se o staré frontální sesuvné území s projevy aktivního ploužení. Ploužení se projevuje především ohýbáním kmenů vzrostlých stromů (opilé stromy). Ve střední části svahu je značně porušena obkladní zídka podél pěší cesty. Samotný chodník je již na několika místech značně deformován, zejména v horní a střední části svahu (*Obr. 14*).



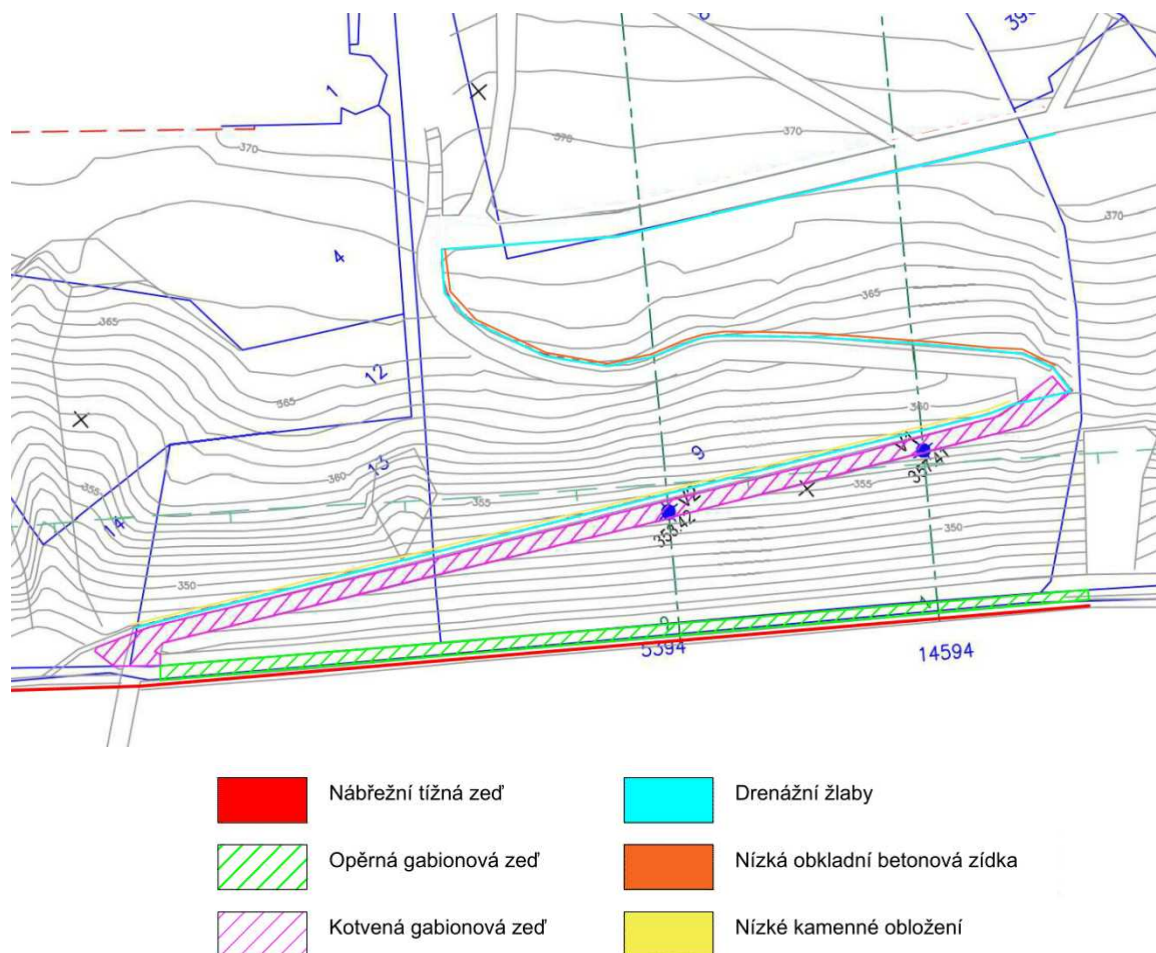
Obr. 14: Popis zleva: ohýbání kmenů stromů (opilé stromy); deformace chodníku

V této oblasti dochází k sesuvům velmi často (na území okresu Vsetín se nachází několik tisíc sesuvů). Sesuvný jev je způsoben strmým sklonem svahu a nestabilními zvětralinami, které jej pokrývají. Sesuvné pohyby urychlují významnější srážkové události, případně tání sněhové pokrývky.

V minulosti bylo provedeno několik opatření ke stabilizaci svahu (*Obr. 15*). Byl zde vybudován řízený odvod dešťové vody. Celou cestu lemují drenážní žlaby. V některých místech je podél cesty nízké kamenné obložení či betonová obkladní zídka, jejichž účelem je ochrana svahu před zvětráváním a zamezení ploužení zeminy až do drenážních žlabů.

Ve spodní části svahu je cesta podepřena kotvenou gabionovou zdí. Břeh řeky Bečvy lemuje nábrežní tížná zeď, která svah chrání před erozními vlivy řeky. Na cestě nad nábrežní zdí podél řeky je v místech kde ploužení zeminy zasahovalo až do cesty, vybudována opěrná gabionová zeď.

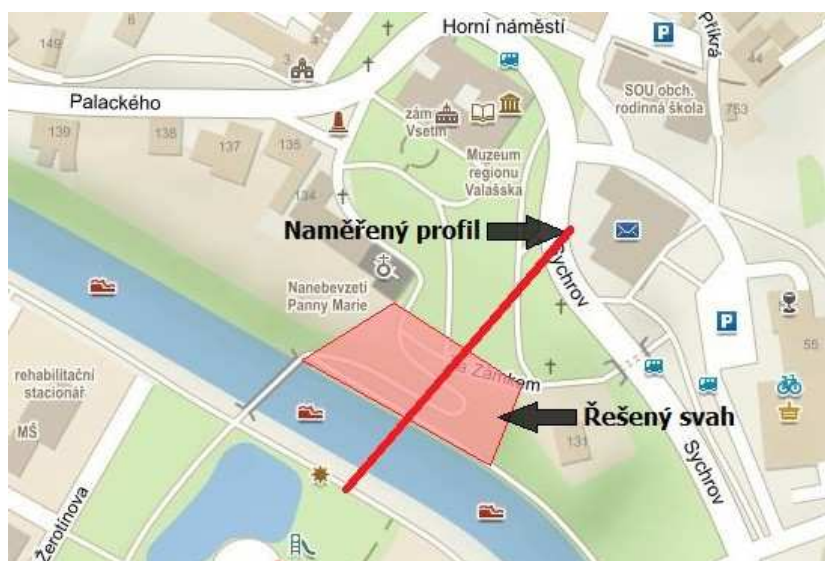
Součástí *Přílohy I* je fotodokumentace zájmového svahu a jeho okolí.



Obr. 15: Rekognoskace terénu – zakreslení dosud vybudovaných sanačních opatření [32; úprava autor]

4.2. Geodetické měření

Pod odborným dohledem bylo provedeno geodetické zaměření svahu v terénu pomocí totální stanice. Pro posouzení stability daného svahu byl zvolen profil, který je znázorněn na *obrázku 16*. Nebyl zaměřen jen profil problémového svahu, ale i návazné neporušené území nad i pod svahem. Řez byl tedy veden od pošty Vsetín 7 na ulici Sychrov přes řešený svah až k druhému břehu řeky Vsetínské Bečvy. K zaměření byla zvolena totální stanice LEICA TC 2003. Zaměření bylo provedeno v souřadném systému JTSK.



Obr. 16: Naměřený profil řešeného svahu[22; úprava autor]

4.3. Vrtná prozkoumanost

Pro zjištění geologických poměrů posuzované lokality byly vyžádány z archívu Geofundu České geologické služby podklady z vrtné prozkoumanosti. V blízkosti lokality byly vybrány dokumentace vrtů 703804, 501625, 502040, 494474. Od firmy UNIGEO a.s. byly získány podrobnosti k vrtům V1 a V2, které jsou situovány přímo v řešeném svahu v dolní části v prostoru chodníku. Jednotlivé polohy vrtů jsou znázorněny na obrázku 17.



Obr. 17: Vrtná prozkoumanost řešeného svahu [27]

Vrty V1 a V2 byly vzhledem ke své poloze pro vytvoření geologického profilu svahu stěžejními. Realizovala je firma UNIGEO a.s. v roce 2009 v rámci geotechnického průzkumu svahu. Vrty byly navrženy jako jádrové o celkové délce 8m a provedeny tak, aby ověřily

hloubku skalního podloží. Jejich dalším účelem byla lokalizace případné smykové plochy. Hladina podzemní vody nebyla během vrtných prací zastižena. Vrty byly likvidovány dusaným záhozem.

Předkvarterní podklad dané lokality je tvořen jílovcí a pískovci, které mají flyšový vývoj. Vrty penetrovaly předkvarterní podloží, ověřily neúplnou mocnost jeho navětralé až zvětralé svrchní části paleogenních hornin – pískovců v mocnosti cca 0,2 – 0,5 m.

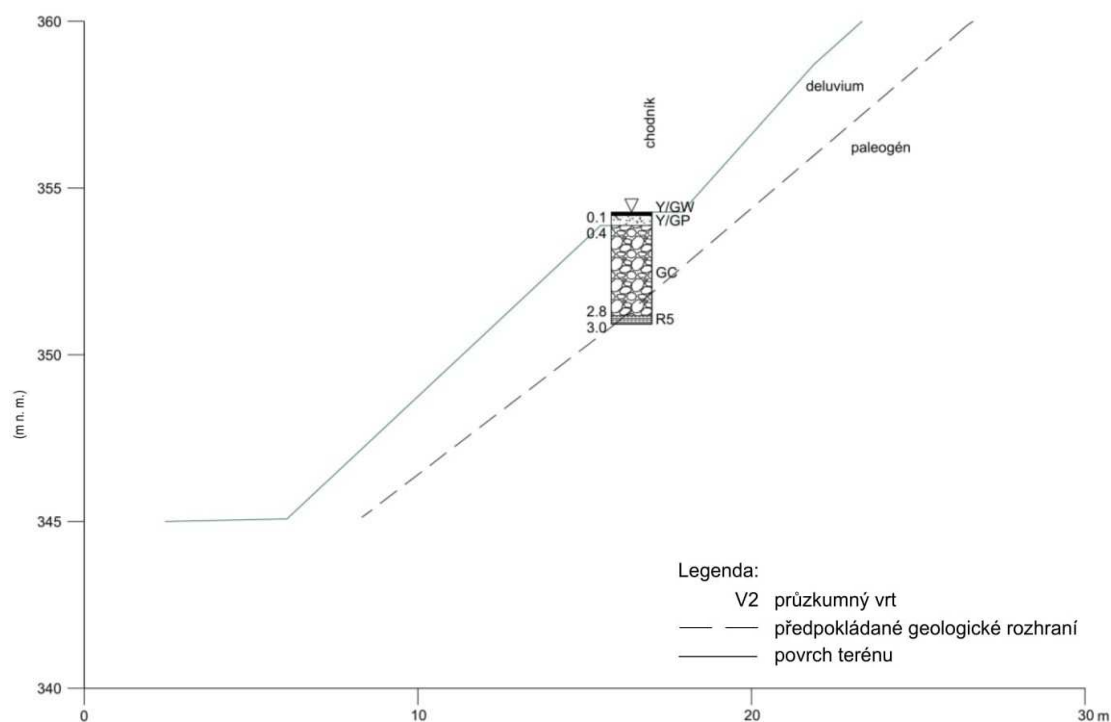
V nadloží předkvarterního podloží se nachází kvarterní pokryv, který je v dané lokalitě tvořen deluviálními sedimenty jílovitého charakteru, s proměnlivým podílem pískovcových klastik. Kvarterní pokryv je náchylný k plouživému pohybu, což je na svahu signalizováno výskytem jednak tzv. opilých stromů a jednak deformacemi chodníku, výraznými zejména ve střední části svahu. Vrty ověřily výskyt deluviálních sedimentů, charakteru převážně jílu, dosahují mocnosti cca 2,5 - 4,2 m.

Celý vrstevní komplex pak uzavírají antropogenní materiály konstrukce chodníku o mocnosti cca 0,3 - 0,4 m.

V oblasti svahu se ve svrchní vrstvě vyskytují svahové sedimenty charakteru jílovotopísčitých hlín, jejichž mocnost se pohybuje okolo 1-1,5 m. [32]

Při tvorbě řezu, jemuž předcházelo geodetické zaměření, bylo vzhledem k jeho poloze nejvíce přihlíženo k vrtu V2. Geologický profil je následující (*Obr. 18*):

- ***Předkvarterní podloží*** je představováno horninou klasifikovanou jako šedohnědý navětralý až zvětralý pískovec R5, silně tektonicky narušený. Vrtem V2 byl zastižen v hloubce 2,8 m o mocnosti 0,2 m.
- ***Kvarterní podloží*** je zastoupeno deluviální zeminou klasifikovanou jako štěrk jílovitý G5-GC až jíl štěrkovitý F2-CG, šedohnědé barvy, s valouny do 5-7 cm a střední ulehlosti. Vrtem V2 byla zemina zastižena v hloubce 0,4 m o mocnosti 2,4 m.
- ***Antropogenní materiály*** konstrukce chodníku uzavírají horninový a zeminový komplex, jedná se na povrchu o kostkovou dlažbu a pod ní štěrk písčitý. Dlažbu lze zařadit do sypaných zemních materiálů symbolu Y/G1-GW, antropogenní štěrky písčité do Y/G2-GP. Tyto materiály jsou prostorově vázány pouze na chodník.



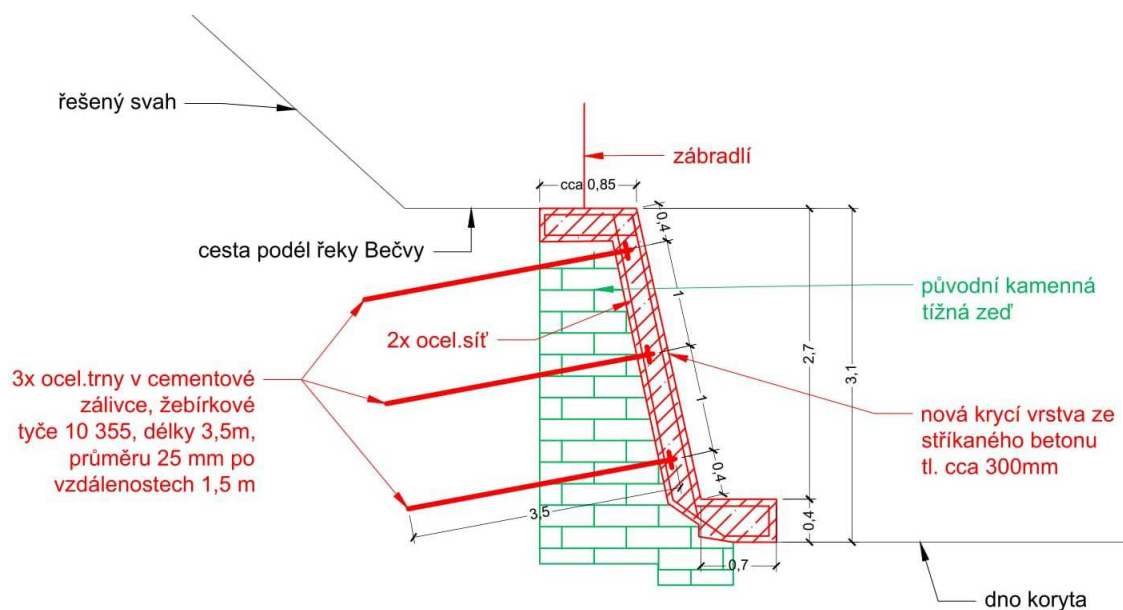
Obr. 18: Geologický profil vrtu V2 [32]

4.4. Dosud realizovaná sanační opatření ke stabilizaci svahu

V letech 1989-90 proběhla oprava nábrežní tížné zdi, která stabilizuje svah. Původní kamenná zeď se díky zvětrávání a vyplavování maltového pojiva postupně narušovala. Na některých místech už docházelo k vypadávání zdiva a k řícení zdi. Bylo tedy potřeba její rekonstrukce. Prvotní variantou sanace zdi byla výstavba zcela nové předsazené zdi v korytě řeky. To by ale mělo za následek zúžení koryta, čímž by se zvedla hladina vody.

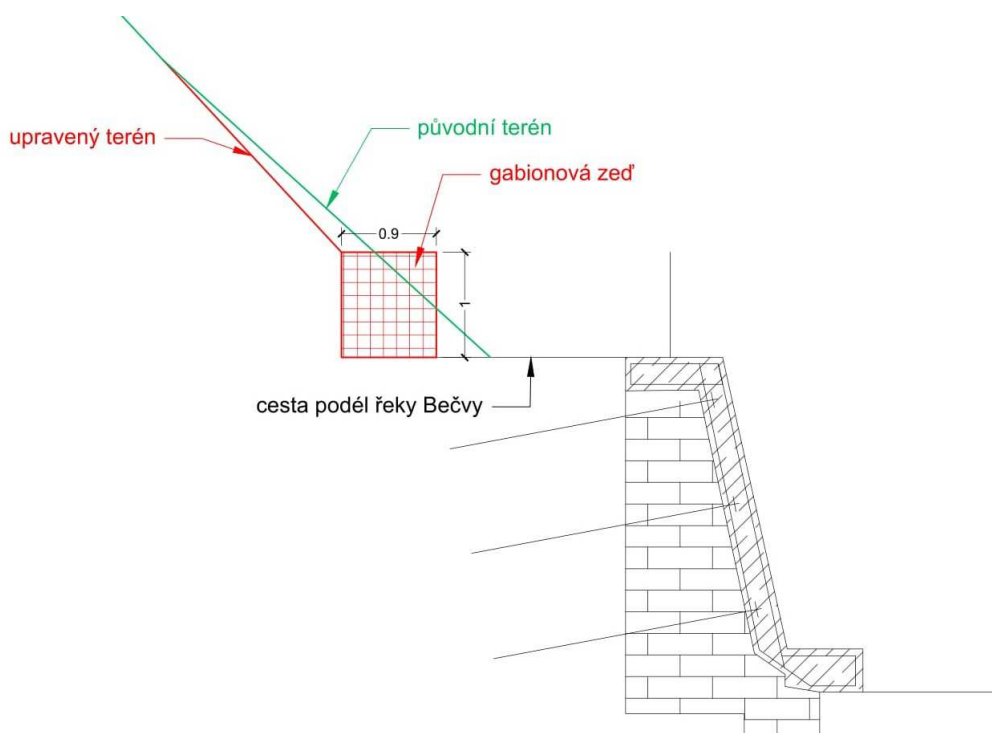
Proto byla zvolena další varianta sanace pomocí metody hřebíkování, čímž bylo vytvořeno zemní těleso, které by se mělo významněji podílet na stabilizaci svahu. V první řadě bylo nutné opravit vypadlé a rozvolněné kamenné zdivo. Dále byly provedeny vrtý průměru 80 mm po vzdálenostech 1,5 m. Po dokončení vrtů byly do cementové zálivky zavedeny žebírkové tyče 10 355 o průměru 25 mm, délky 3,5 m. Jako krycí vrstva zdi byl zvolen stříkaný beton, vyztužený dvěma vrstvami ocelové síťoviny.

Pro konečný vzhled zdi byl zhotoven betonový pohled odolávající erozním a abrazivním účinkům proudící vody. Odvodnění bylo řešeno odvodňovacími otvory ve zdi. Zeď byla dimenzována na přetížení cestou v koruně zdi. Schéma konstrukčního provedení rekonstrukce zdi je znázorněno na obr. 19.



Obr. 19: Sanace nábrežní tížné zdi

V roce 2000 došlo ke stabilizaci paty svahu. V některých místech ploužení zeminy zasáhlo až cestu nad nábrežní zdi podél řeky Bečvy. Tudíž bylo třeba upravit terén svahu a provést úpravu vegetačního krytu. U paty svahu se nachází vzrostlé stromy, které svah díky svým kořenům stabilizují. Tyto stromy byly ponechány a v mezerách mezi nimi byly vybudovány gabionové opěrné zdi o rozměrech 0,9 x 1,0 m. Gabion kromě zamezení dalšímu ploužení zeminy zajistil i permanentní odvodnění paty svahu (Obr. 20).



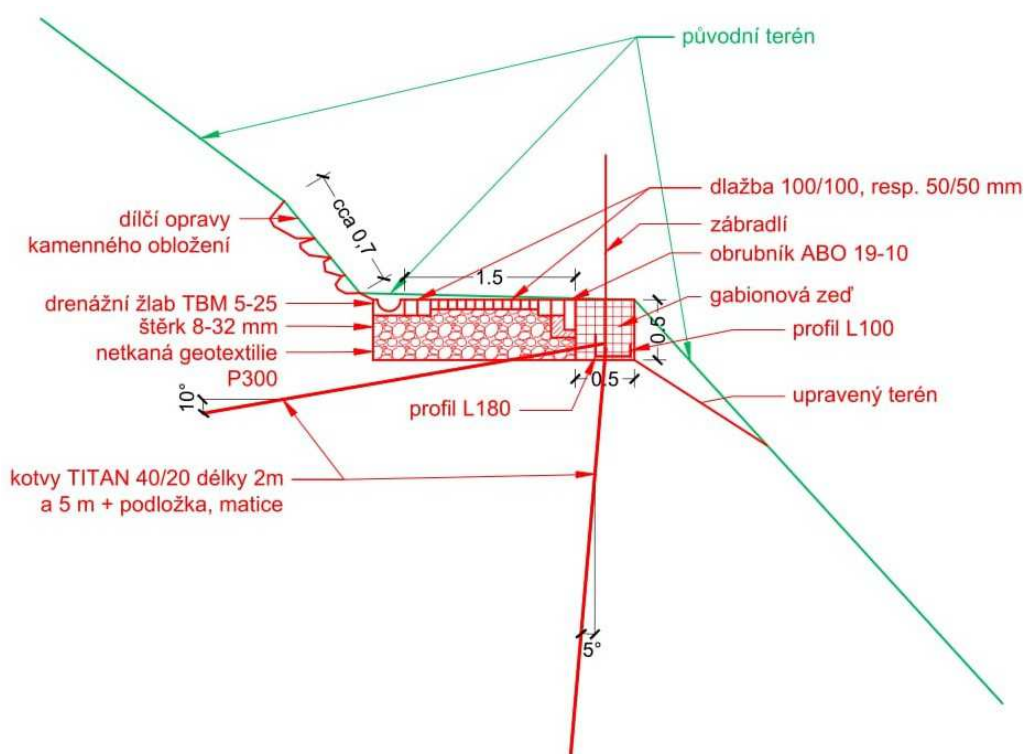
Obr. 20: Výstavba gabionové zdi u paty svahu

V roce 2011 byla provedena další navazující stabilizační opatření a opravena cesta ve svahu, která byla ve spodní části téměř neschůdná.

Ve spodní části svahu bylo vybudováno zcela nové těleso cesty na novém podkladu, opřené o kotvenou gabionovou zeď v délce 75 m. Gabionová zeď o rozměrech 0,5 x 0,5 m byla na hraně svahu zapuštěna do úrovně cesty, aby zajistila permanentní odvodnění podloží cesty. Gabion se osadil do země zapuštěného L profilu 180/180 tak, aby nebyl vidět, a do něj byly ukotveny kolmé a vodorovné kotvy TITAN 40/20 délky 2 m a 5 m (*Obr. 21*). Kotvy byly provedeny s roztečí maximálně 2 m, aby nedošlo k ohýbání L profilu. Úklon kotev je navržen 10° a 85 ° od horizontály.

V rámci výstavby nového tělesa cesty byla třeba úprava vegetačního krytu a úprava terénu svahu v místě gabionové zdi a v místech, kde díky ploužení zeminy zasahoval až do drenážních žlabů. Došlo k vybudování nových žlabů, čímž se obnovil řízený odvod dešťové vody. Byly provedeny dílčí opravy kamenného obložení svahu podél cesty.

Nově vybudovaná část chodníku byla vydlážděna původními žulovými kostkami. V ostatních částech cesty ve svahu se pak v místech, kde bylo v minulosti při opravách použito jiného materiálu (např. betonu), chodník opravil stejným způsobem. Dále byla provedena oprava drenážních žlabů a úprava vegetačního krytu.



Obr. 21: Výstavba kotvené gabionové zdi ve spodní části svahu

4.5. Analýza stávajícího stavu

Jedná se o staré frontální sesuvné území s projevy aktivního ploužení. Dle geologického průzkumu z roku 2009 je skalní podloží svahu tvořené pískovci od hloubky cca 2,8 až 4,5 m. Svrchní pokryv tvoří deluviální sedimenty, charakteru převážně jílu, náchylné k plouživému pohybu.

Ploužení se projevuje především ohýbáním kmenů vzrostlých stromů (opilé stromy). Ve střední části svahu je značně porušena obkladní zídka podél pěší cesty. Samotný chodník je již na několika místech značně deformován, zejména v horní a střední části svahu. Jako aktivní faktory jsou považovány srážky a nasycení vodou.

V posledních letech se svah podařilo částečně stabilizovat a bylo vybudováno několik stabilizačních opatření viz. *kapitola 4.4*. Ke zvýšení stability svahu také přispívá stromový pokryv svahu, který svým kořenovým systémem zpevňuje svrchní část a spotřebovává část podzemní vody.

Příloha 1 obsahuje fotodokumentaci zájmového svahu a jeho okolí.

5. Modelová analýza stávajícího stavu

5.1. Podklady pro tvorbu matematického modelu

Geologická stavba svahu byla odvozena z poznatků rekognoskace daného území, studia archivních materiálů a vrtné prozkoumanosti (viz. kapitola 4.3). Geologie byla konzultována i s odborníkem z praxe, který má s touto lokalitou zkušenosti.

Předkvarterní podklad dané lokality je tvořen jílovci a pískovci vsetínských vrstev zlínského souvrství karpatského flyše. I když podklad daného svahu je tvořen pískovci, jak bylo ověřeno vrtnými pracemi, několik metrů od posuzovaného svahu už byly v podloží zastíženy jílovce. Z důvodu velké proměnlivosti těchto vrstev v dané oblasti, bylo provedeno posouzení stability a návrh sanačních opatření pro 2 varianty podloží svahu, aby bylo zastíženo případně horší složení geologického profilu svahu.

. V první variantě tvoří předkvarterní podloží svahu pískovce, v druhé variantě je pak podloží tvořeno jílovci. Parametry zemin a hornin pro matematické modelování byly zvoleny v souladu s empiricky určenými hodnotami [4], viz. Tab. 1 resp. Tab. 2.

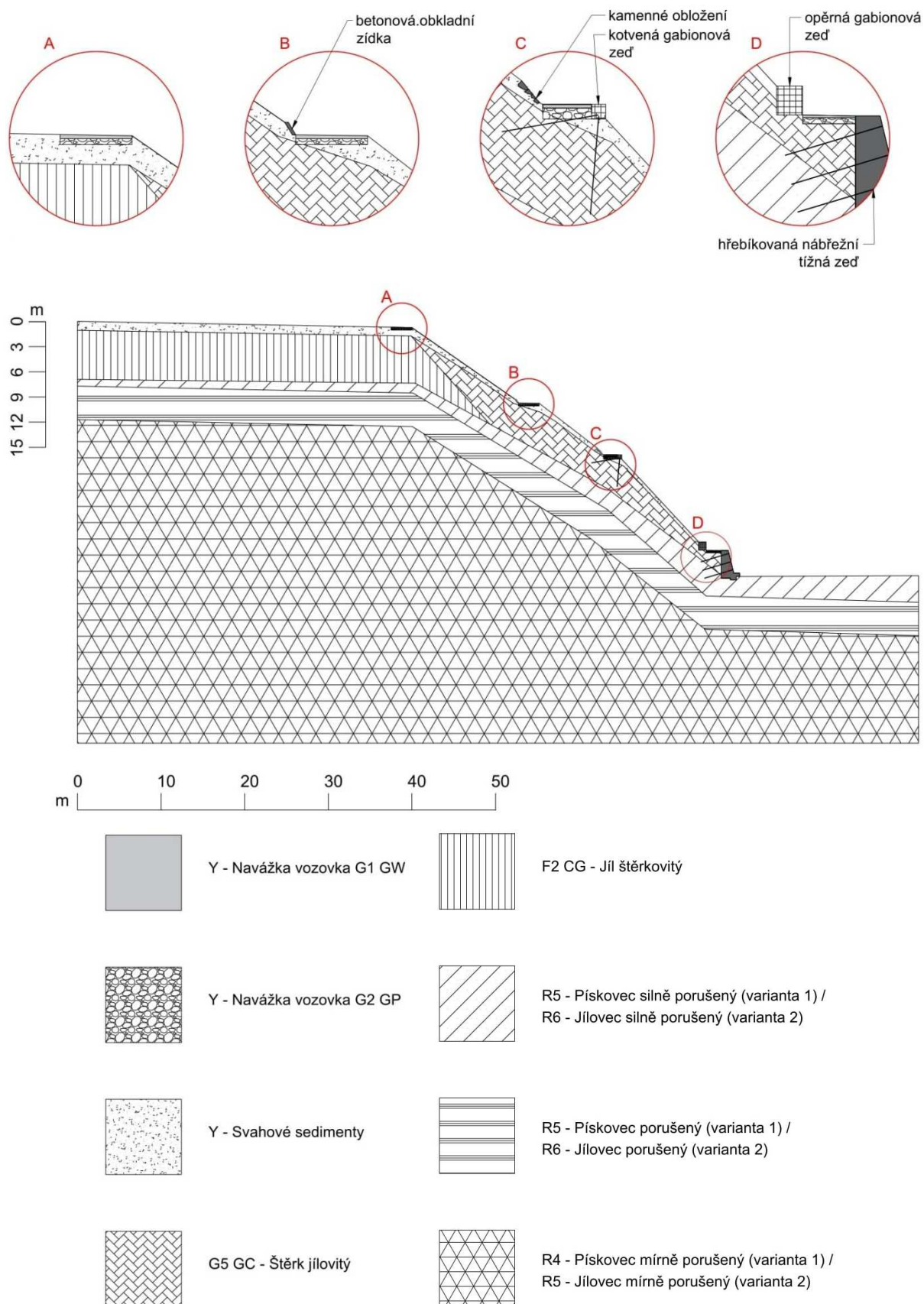
VARIANTA 1 – podloží svahu tvořeno PÍSKOVCEM							
Zemina	γ [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	c [kPa]	ϕ [°]	v [-]	E [MPa]	$k_x=k_y$ [m/s]
Y – Navážka G2-GP	20,0	21,0	0	36	0,20	200	10 ⁻⁴
Y – Konstrukce vozovky G1-GW	21,0	22,0	0	41	0,20	420	10 ⁻⁴
Y – Svahové sedimenty	19,0	22,0	12	26	0,35	6	10 ⁻⁸
F2 CG – Jíl štěrkovitý	19,5	22,5	14	30	0,35	10	10 ⁻⁸
G5 GC – Štěrka jílovitý	19,5	22,5	14	28	0,30	50	10 ⁻⁷
R5 – Pískovec silně porušený	18,5	21,5	30	25	0,35	12	10 ⁻⁸
R5 – Pískovec porušený	19,0	22,0	50	26	0,30	60	10 ⁻⁸
R4 – Pískovec mírně porušený	19,5	22,5	100	24	0,25	80	10 ⁻⁸

Tab. 1: Varianta 1 – podloží svahu tvořeno pískovcem

VARIANTA 2 – podloží svahu tvořeno JÍLOVCEM							
Zemina	γ [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	c [kPa]	ϕ [°]	ν [-]	E [MPa]	$k_x=k_y$ [m/s]
Y – Navážka G2-GP	20,0	21,0	0	36	0,20	200	10 ⁻⁴
Y – Konstrukce vozovky G1-GW	21,0	22,0	0	41	0,20	420	10 ⁻⁴
Y – Svahové sedimenty	19,0	22,0	12	26	0,35	6	10 ⁻⁸
F2 CG – Jíl štěrkovitý	19,5	22,5	14	30	0,35	10	10 ⁻⁸
G5 GC – Štěrk jílovitý	19,5	22,5	14	28	0,3	50	10 ⁻⁷
R6 – Jílovec silně porušený	18,5	21,5	30	24	0,35	8	10 ⁻¹⁰
R6 – Jílovec porušený	19,5	22,5	50	26	0,30	55	10 ⁻¹⁰
R5 – Jílovec mírně porušený	19,5	22,5	100	22	0,25	70	10 ⁻¹⁰

Tab. 2: Varianta 2 – podloží svahu tvořeno jílovcem

V programu AutoCAD 2016 byl na základě geodetického měření vykreslen profil svahu, do kterého byl dále doplněn průběh vrstev tvořících geologickou stavbu svahu (obr. 22).



Obr. 22: Geologická stavba posuzovaného svahu

5.2. Tvorba matematického modelu

Pro výpočty a posouzení stability svahu byl použit program PLAXIS 2D. Tento programový systém byl speciálně vyvinut pro deformační a stabilitní analýzu geotechnických úloh a je založen na numerické metodě konečných prvků (MKP). Princip MKP spočívá v diskretizaci spojitého kontinua do určitého (konečného) počtu prvků. Zjišťované parametry jsou určovány v jednotlivých uzlových bodech. Mezi vstupní data, potřebná pro výpočet napěťo-deformačního stavu svahu, patří popisné, deformační a pevnostní charakteristiky zemin a hornin, tvořící geologický profil.

Geologický profil z programu AutoCAD 2016 byl tedy importován do programu PLAXIS 2D, kde byly v záložce Soil zadány geotechnické parametry odpovídající zjištěným zeminám a horninám (viz. kapitola 5.1.) a přiřazeny jednotlivým geologickým vrstvám. Dále byly do modelu vloženy konstrukční prvky aplikované v daném svahu, a to hřebíková nábrežní tížná zeď a kotvená gabionová zeď, jejichž parametry budou popsány níže v kapitole 5.3.

Současně bylo třeba pro jednotlivé materiály určit, zda se jedná o neporézní (non-porous), odvodněný (drained) či neodvodněný (undrained) typ materiálu. Typ undrained simuluje vyplnění všech pórů a puklin vodou, což je považováno za nejkritičtější stav. V našem případě byl pro všechny vrstvy zemin a hornin v daném svahu zvolen typ undrained, pro gabionové konstrukce typ drained a pro tížnou zeď typ non-porous.

Další důležitou částí matematického modelování byla volba konstitutivního materiálového modelu pro jednotlivé materiály, který popisuje chování materiálu a udává obecně vztah mezi deformací (přetvořením) materiálu a jeho stavovými veličinami. Při vytváření modelu řešeného svahu byly použity modely typu lineárně pružný (linear elastic) a pružně ideálně-plastický (Mohr – Coulomb).

Lineárně elastický model je založen na Hookově zákoně. Udává vztah mezi napětím a přetvořením, přičemž přetvoření jsou vratná (elastická). Model je určen pouze 2 základními charakteristikami (Poissonovo číslo - ν a Youngův modul pružnosti - E). Moduly při zatěžování E a odlehčování E_{ur} jsou totožné. Patří mezi nejjednodušší konstitutivní modely a dobře simuluje chování zemin při velmi malých přetvořeních. Při větších přetvořeních chování zemin nevystihuje zcela přesně. Neumožňuje vyhodnotit porušení, protože nedefinuje žádnou podmínku pro plastické chování. Využívá se zejména pro modelování konstrukčních ocelových či betonových částí modelu. V našem případě byl tento konstitutivní materiálový model zvolen pro tížnou zeď a gabionové konstrukce.

V ideálně-plastickém konstitutivním modelu se materiál chová do meze plasticity pružně, dále pak vznikají plastická přetvoření při konstantním napětí. V geotechnické praxi se nejčastěji používá Mohr – Coulomb materiálový model, i když ne vždy poskytuje zcela objektivní výsledky. Model závisí na 5 materiálových parametrech (Poissonovo číslo - ν , deformační modul - E_{def} , soudržnost - c_{ef} , úhel vnitřního tření - ϕ_{ef} , úhel dilatance - ψ). Nezohledňuje změnu tuhosti v závislosti na přetvoření, má tedy stejný modul pružnosti při zatěžování i odlehčování. Dále se vyznačuje totožnou podmínkou pro plasticitu i porušení. Reálné výsledky dává model při řešení stabilitních úloh, deformace není schopen modelovat mnohdy zcela objektivně. V našem případě byl tento konstitutivní materiálový model zvolen pro všechny vrstvy zemin a hornin v daném svahu. [5]

Pro matematický model byly následně vytvořeny fáze, které určují jednotlivé stavy svahu. První fáze slouží k aktivaci původního napětíodeformačního stavu svahu. Označuje se jako iniciační. V této fázi byl zvolen typ výpočtu „Gravity loading“, který je určen pro nehorizontální geologické vrstvy svahu. Tato fáze charakterizuje původní stav svahu před provedením dosavadních sanačních opatření (*Obr. 23*).

Druhá fáze pak navazuje na fázi iniciační. Bylo třeba resetovat posuny na nulu a zvolit typ výpočtu „Plastic“, který se používá pro elastoplastickou deformační analýzu, při kterých se neuvažuje se změnou pórových tlaků v čase. Druhá fáze popisuje stávající stav svahu s dosud provedenými sanačními opatřeními (*Obr. 26*).

Pro obě fáze bylo třeba dále určit stupeň stability, který určuje poměr mezi pasivními silami a silami aktivními. Pokud je účinek aktivních sil ve svahu větší než účinek pasivních sil, dojde k porušení stability a svah se dá do pohybu. Pro obě fáze se tedy provedl výpočet typu „Safety“, který stanovuje stupeň stability svahu, označený jako ΣM_{sf} . Stupeň stability je v programu vypočten globálně pro celou zájmovou oblast, tj. program na svém výstupu zobrazí součinitele stability, odpovídající kritické smykové ploše.

Při výpočtu program definuje součinitel stability jako poměr původní soudržnosti zeminy, respektive úhlu vnitřního tření, k soudržnosti či úhlu vnitřního tření na mezi porušení:

$$\Sigma M_{\text{sf}} = \frac{c}{c_r} = \frac{\tan \phi}{\tan \phi_r} \quad (1)$$

kde: c soudržnost původní (vstupní)
 ϕ původní (vstupní) úhel vnitřního tření
 c_r soudržnost na mezi porušení
 ϕ_r úhel vnitřního tření na mezi porušení

Pro trvale stabilizované svahy je podle ČSN EN 1997 – 1 daná hodnota stupně stability větší než 1,5. Pro dočasně stabilizované svahy je daná hodnota větší než 1,3.

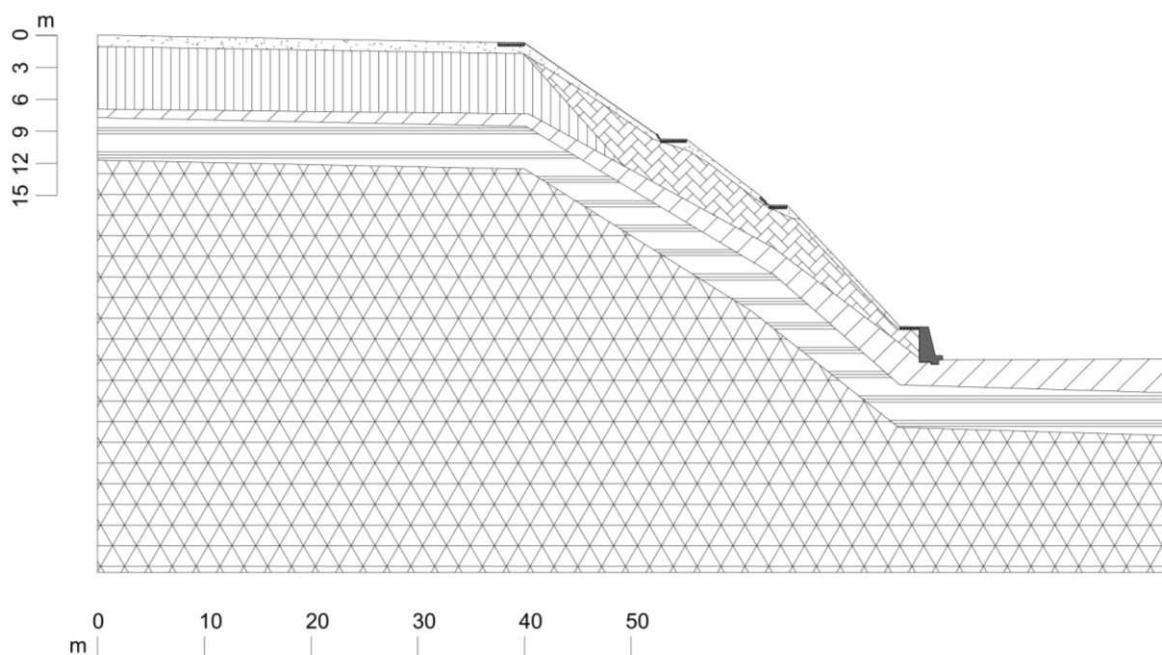
Při analýze stávajícího stavu byl svah posuzován dle dvou situací. První situace charakterizuje svah za běžných podmínek. Druhá situace charakterizuje kritický stav, který má simulovat stoleté srážky. V tomto případě byla zemina 100% saturována vlivem srážek a HPV dosahovala povrchu terénu.

5.3. Modelová analýza stávajícího stavu

Vzhledem k velkému objemu grafických dat je následně vždy uvedena pouze modelová analýza pro variantu podloží 1 (podloží svahu tvořeno pískovcem, jež bylo prokázáno vrtnými pracemi) a to pro kritický stav svahu. Grafické výstupy varianty 2 (podloží svahu tvořeno jílovcem) jsou uvedeny v *příloze 2*. Pro přehlednost hodnocení jsou výsledky stupně stability uvedeny v tabulkách pro obě varianty podloží, ale slovně okomentovány jen pro variantu podloží tvořeného pískovcem.

5.3.1. Fáze 1 - iniciační fáze

Iniciační fáze charakterizuje původní stav svahu před provedením dosavadních sanačních opatření (*Obr. 23*).



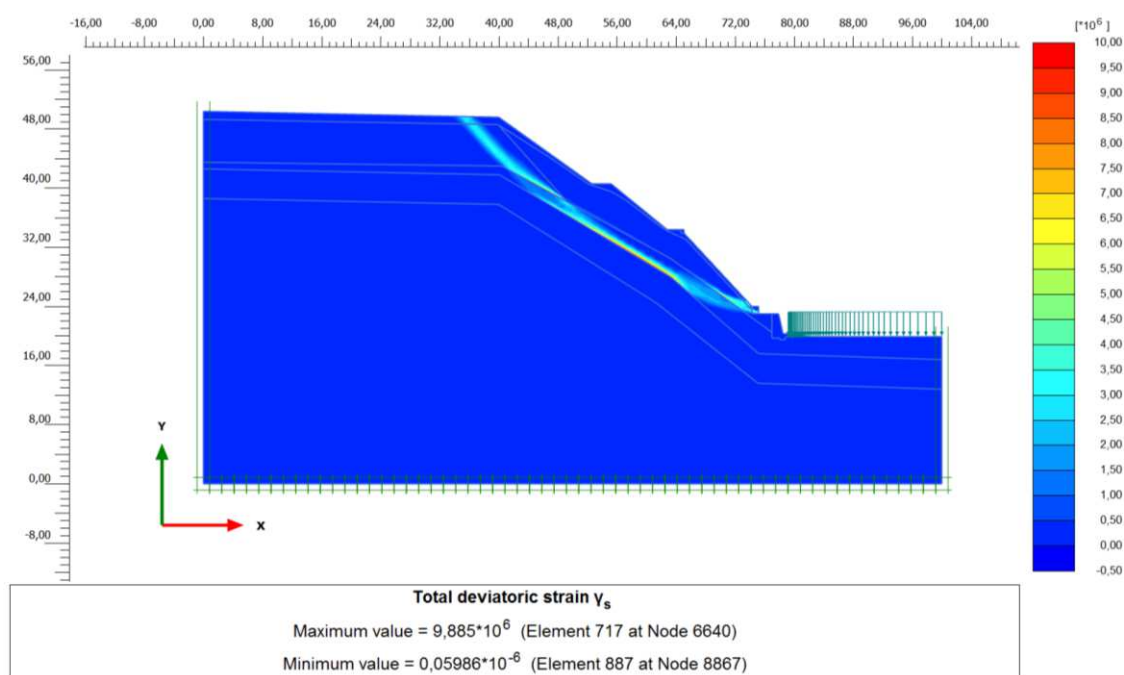
Obr. 23: Fáze 1 – iniciační fáze

V iniciační fázi bylo třeba do matematického modelu vložit kromě vrstev zemin a hornin, určených výše, i nábrežní tížnou zeď a přiřadit jí vstupní parametry. Parametry byly zadávány taktéž v záložce Soil (Tab. 3), kde oproti zadávání zemin byl zvolen lineárně elastický model a materiál jako non-porous.

Soil				
Prvek	γ [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	ν [-]	E [MPa]
Tížná zeď	25,0	25,0	0,2	25 000

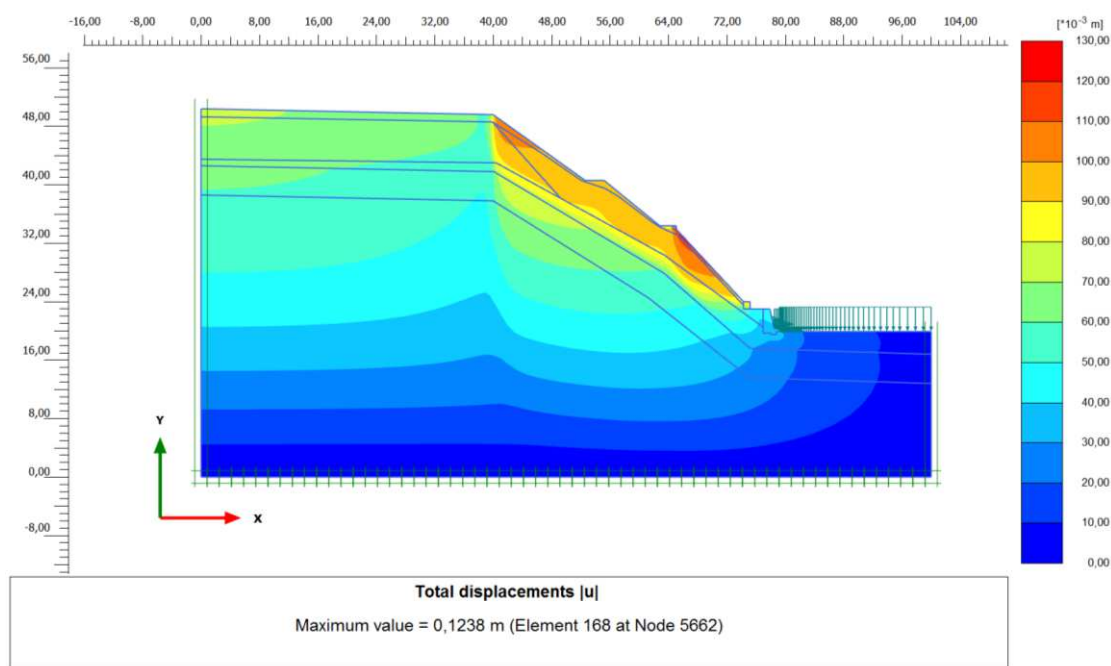
Tab. 3: Vstupní parametry nábrežní tížné zdi v záložce Soil

Pro vytvořený matematický model, byly následně provedeny výpočty určené pro danou fázi.



Obr. 24: Výstup z PLAXIS 2D – kritický stav - průběh smykové plochy (podloží tvořeno pískovcem)

Z výstupu programu PLAXIS 2D je zřejmé, že se smyková plocha nachází na rozhraní horninových vrstev, mezi vrstvami velmi porušeného a porušeného pískovce (Obr. 24). Tento jev je pro ukloněné vrstvy horninového prostředí a taky pro flyšové horniny typický.



Obr. 25: Výstup z PLAXIS 2D – kritický stav – absolutní posuny (podloží tvořeno pískovcem)

Fáze 1- iniciační fáze		
Varianta podloží svahu	Stupeň stability ΣM_{sf}	
	Běžný stav svahu	Kritický stav svahu
1 - PÍSKOVEC	1,19	0,42
2 - JÍLOVEC	1,16	0,42

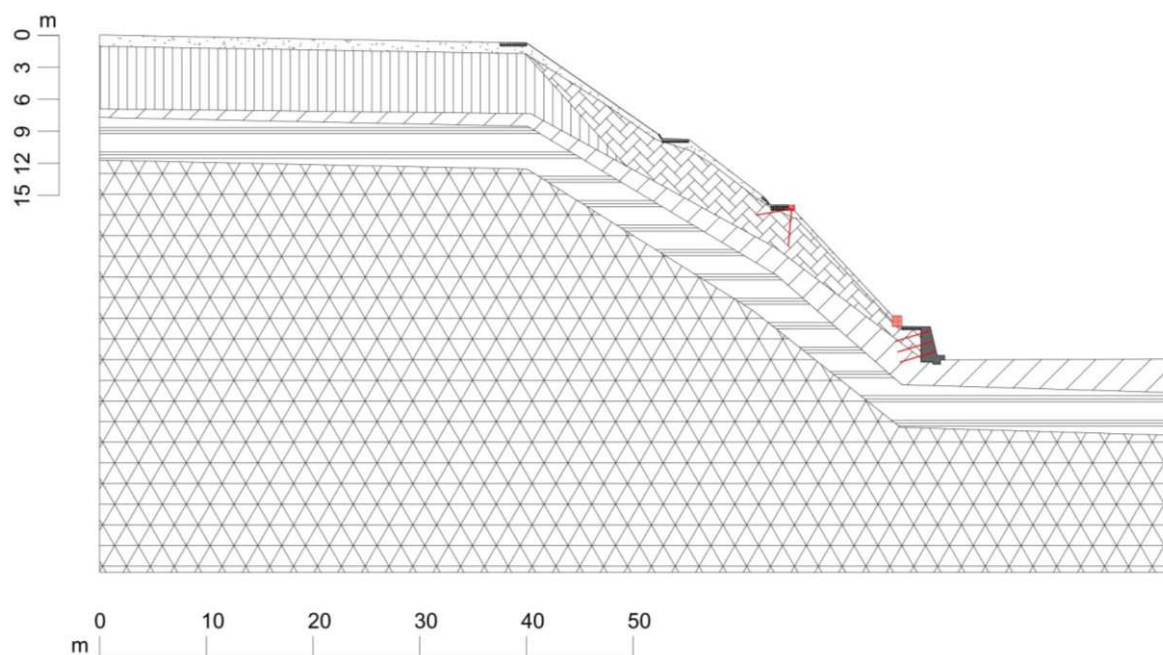
Tab. 4: Stupeň stability pro fázi 1

Stupeň stability je roven hodnotě 1,19 (Tab. 4). Podmínka rovnováhy $\Sigma M_{sf} \geq 1$ je splněna, přičemž ale hodnota stupně stability pro trvale stabilizované svahy by neměla být menší než 1,5.

V případě kritického stavu svahu (2. situace), kdy je zemina 100% saturována, dochází ke snížení stupně stability na hodnotu 0,42. Hodnota stupně stability je menší než 1,0, z čehož vyplývá, že tento stav není v rovnováze a tudíž může dojít k dalším svahovým pohybům.

5.3.2. Fáze 2 – stávající stav

Druhá fáze navazuje na iniciační fázi a popisuje daný svah s dosud provedenými sanačními opatřeními, popsány v kapitole 4.4. Ve spodní části svahu je cesta podepřena kotvenou gabionovou zdí. Břeh řeky Bečvy lemuje kotvená nábrežní tížná zeď, která svah chrání před erozními vlivy řeky. Na cestě nad nábrežní zdí podél řeky je v místech, kde ploužení zeminy zasahovalo až do cesty, vybudována opěrná gabionová zeď (Obr. 26).



Obr. 26: Fáze 2 – stávající stav

Ve fázi 2 bylo třeba do matematického modelu vložit konstrukční prvky dosud vybudovaných sanačních opatření a přiřadit jim vstupní parametry.

Parametry gabionové zdi byly zadávány v záložce Soil (Tab. 5), kde oproti zadávání zemin byl zvolen lineárně elastický model a materiál byl určen jako Drained.

Soil				
Prvek	γ [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	ν [-]	E [MPa]
Gabionová konstrukce	20,0	22,5	0,2	250

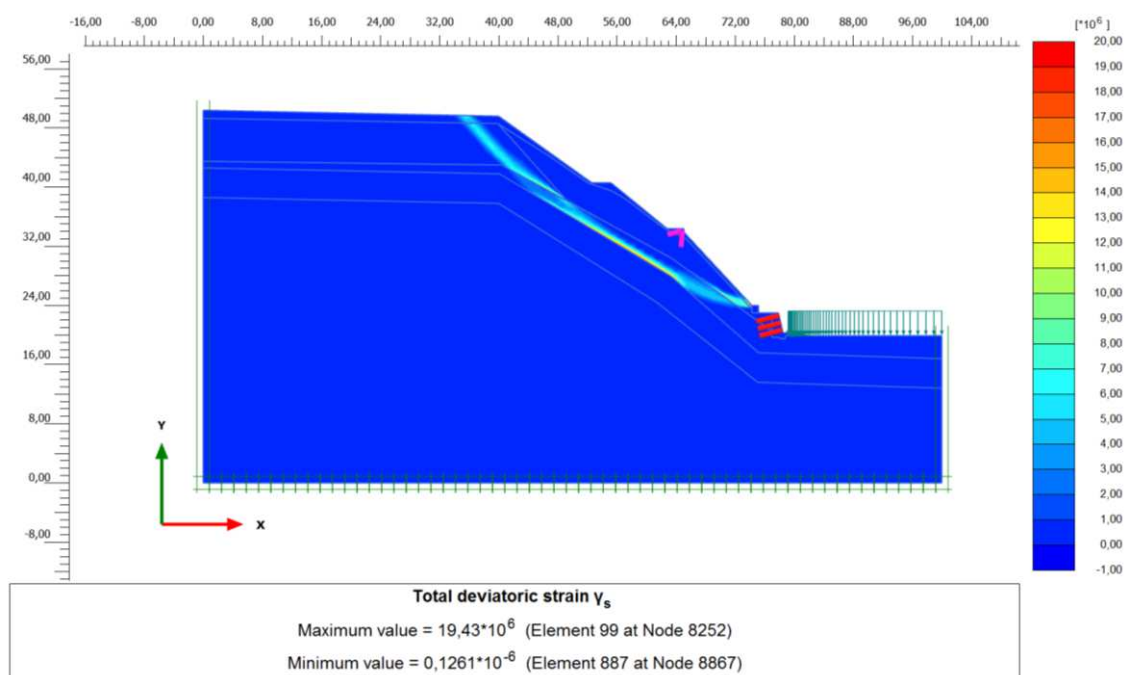
Tab. 5: Vstupní parametry gabionové zdi v záložce Soil

Kotvy byly do modelu vkládány pomocí prvku node-to-node anchor. Parametry kotev byly zadány v záložce Anchor (Tab. 6).

Anchor		
Prvek	Rozpětí L_{spacing} [m]	EA [kN/m]
Kotvy gabionové zdi	2,0	205 774
Kotvy nábrežní tížné zdi	1,5	216 481

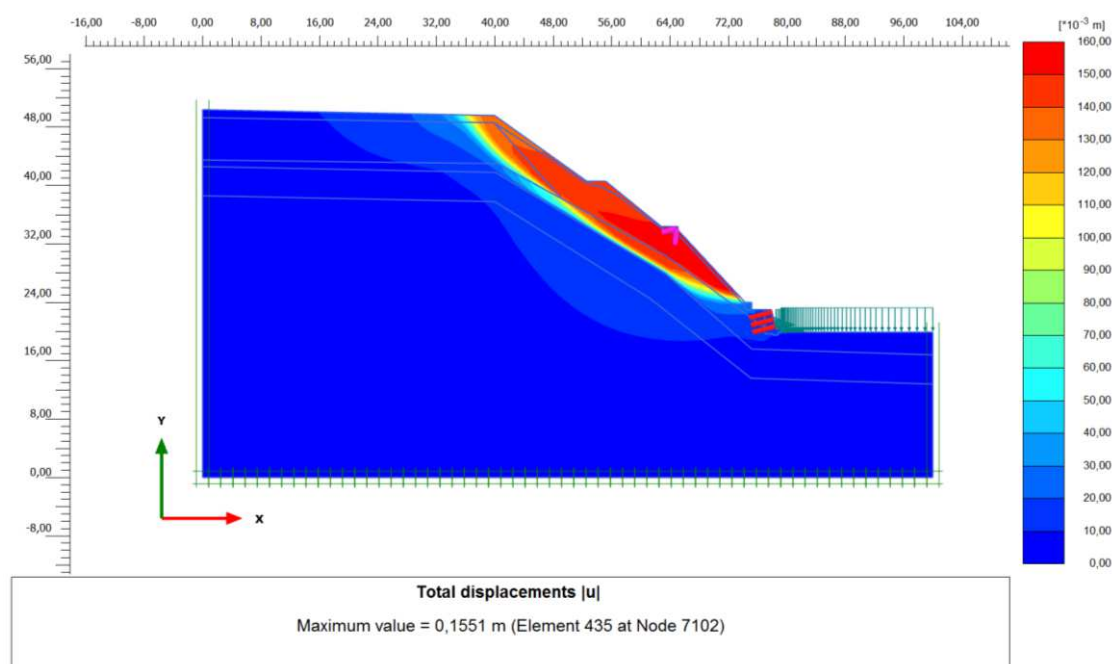
Tab.6: Vstupní parametry kotev v záložce Anchor

Pro vytvořený matematický model, byly následně provedeny výpočty určené pro danou fázi.



Obr. 27: Výstup z PLAXIS 2D – kritický stav - průběh smykové plochy (podloží tvořeno pískovcem)

Z výstupu programu PLAXIS 2D je zřejmé, že se smyková plocha nachází stejně jako u iniciační fáze na rozhraní horninových vrstev, mezi vrstvami velmi porušeného a porušeného pískovce (Obr. 27).



Obr. 28: Výstup z PLAXIS 2D – kritický stav - absolutní posuny (podloží tvořeno pískovcem)

Fáze 2 – Stávající stav		
Varianta podloží svahu	Stupeň stability ΣM_{sf}	
	Běžný stav svahu	Kritický stav svahu
1 - PÍSKOVEC	1,19	0,96
2 - JÍLOVEC	1,16	0,96

Tab. 7: Stupeň stability pro fázi 2

Stupeň stability je roven hodnotě 1,19. Oproti iniciační fázi nedošlo ke zvýšení stupně stability (Tab. 7).

V případě kritického stavu svahu (2. situace) dochází opět ke snížení stupně stability a to na hodnotu 0,96. Hodnota stupně stability je stále menší než 1,0, svah tedy není v rovnováze a může dojít k dalšímu svahovému pohybu. Ve skutečnosti ale bude hodnota stupně stability pro stávající stav pravděpodobně vyšší z důvodu kořenového systému ve svahu a řízeného odvodu dešťové vody pomocí drenážních žlabů podél cesty ve svahu.

Zavedení sanačních opatření nezvýšilo stupeň stability. Smyková plocha zůstala nezměněna, jelikož nebyla přerušena žádným prvkem sanačního opatření. Došlo pouze k lokálnímu zpevnění svahu v místech, kde byly použity sanační opatření. Toto je zřejmé z absolutních posunů u paty svahu v místě opěrné gabionové zdi a kotvené nábrežní

zdi (*Obr. 28*). Při rekognoskaci terénu bylo prokázáno i zpevnění v místě vybudované kotvené gabionové zdi ve spodní části svahu, jelikož na nově vybudovaném chodníku nebyly shledány žádné deformace.

Vzhledem k výsledkům modelové analýzy stávajícího stavu svahu je třeba navrhnout takové sanační opatření trvalého charakteru, které by zajistilo stabilitu daného svahu.

6. Návrh variantních sanačních opatření

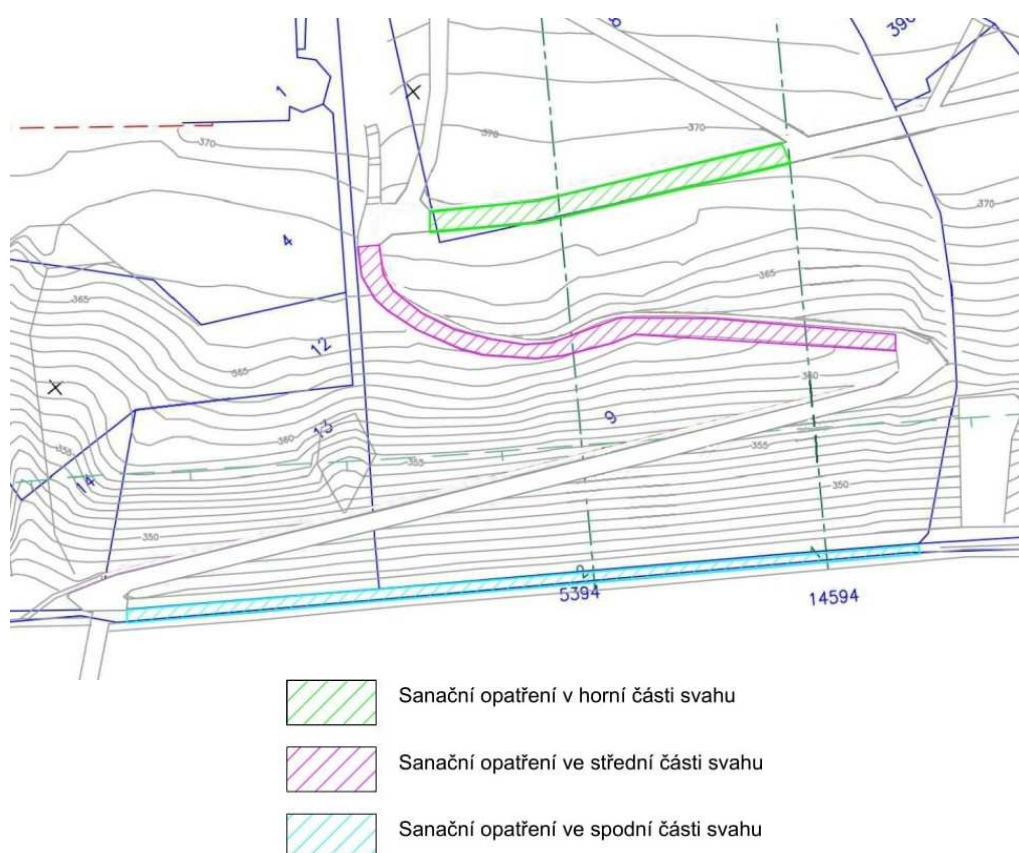
Na základě analýzy stávajícího stavu bylo třeba navrhnout sanační opatření, která zvýší stabilitu svahu a přeruší smykové plochy. Pro správnou stabilizační funkci musí zvolené prvky protínat smykovou plochu a mít patu dostatečně hluboko. Minimálně třetina jejich délky by měla zasahovat do stabilních flyšových sedimentů.

Bylo navrženo několik variant sanačních opatření, které jsou popsány níže. Návrhy byly velmi omezeny z důvodu špatné přístupnosti svahu. Řešený svah je přístupný pouze z pěší cesty, která vede svahem. Nebylo by možné použití žádné technologie pomocí těžké techniky.

Dalším omezením bylo, že se svah nachází v blízkosti zámeckých objektů v areálu parku a nebylo by vhodné aplikovat opatření, která by narušovala výrazně ráz krajiny.

Dosud provedená sanační opatření byla budována pouze podél pěší cesty nejen z důvodu špatné přístupnosti, a aby co nejméně narušovala vzhled svahu, ale také z důvodu podepření pěší cesty.

Vzhledem k tomu, že spodní část svahu byla sanována už v roce 2011, byla navržena sanační opatření podél pěší cesty v horní a střední části svahu a u jeho paty (Obr. 29).



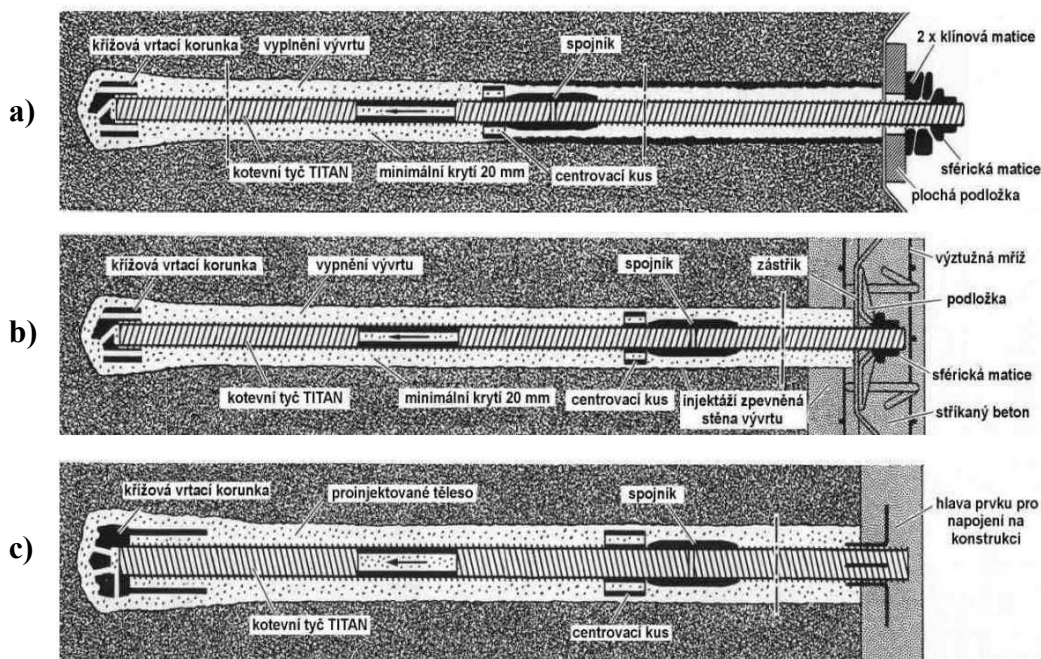
Obr. 29: Návrh umístění sanačních opatření[32, úprava autor]

Jelikož šířka cesty ve svahu dosahuje maximálně 2100 mm, byla zvolena sanační opatření pomocí víceúčelové vrtací soupravy MORATH, která lze připevnit i na podvozek rypadla např. KOBELCO SK 45 SR – 2 o šířce podvozku 1950 mm.

Varianty sanačních opatření jsou proto kombinací mikropilot, kotvených mikropilot, hřebíkování, kotvení a gabionových zdí. Princip jednotlivých navržených metod sanace je specifikován v kapitole 2.3.

Takto navržená kombinace prvků byla zvolena i z důvodu podobného principu výstavby. Tudíž není třeba dalších strojů a materiálů od různých dodavatelů, čímž se sníží cena sanace.

Materiál pro kotvení, hřebíkování i piloty byl navržen od firmy Minova Bohemia s.r.o. Na obrázku 30 jsou znázorněny v návrzích použité injekční kotevní tyče typu TITAN využitelné pro mikropiloty, kotvy i hřebíky.



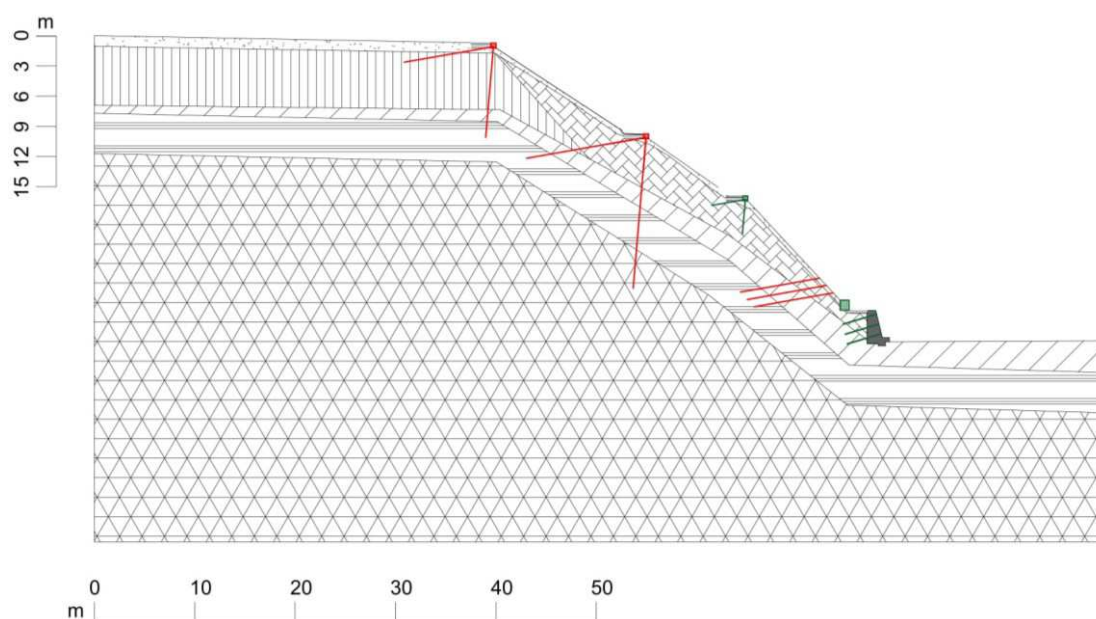
Obr. 30: Injekční kotevní tyče TITAN, použité jako: a) kotva; b) hřebík; c) mikropilota [8]

6.1. Návrh prvního sanačního opatření pomocí kotvených gabionových zdí a hřebíkování svahu

Navržená sanace řešeného svahu se skládá z:

- kotvené gabionové zdi v horní části svahu
- kotvené gabionové zdi ve střední části svahu
- hřebíkování svahu ve spodní části svahu
- dílčích oprav dosud provedených sanačních opatření
- úpravy vegetace
- úpravy terénu svahu

Navržené prvky sanačního opatření jsou zakresleny v *obrázku 31* (podrobnější zakreslení viz. *příloha 3 – výkres 1*).



Obr. 31: Návrh sanačního opatření pro variantu 1

Tato varianta byla navržena v návaznosti na dosud provedené sanační opatření, aby byly viditelné prvky sjednoceny a nenarušovaly ráz krajiny.

V horní a střední části svahu je navrženo použití kotvené gabionové zdi podél pěší cesty. Gabionová zeď o navržených rozměrech 0,5 x 0,5 m bude na hraně svahu zapuštěna do úrovně cesty, aby zajistila permanentní odvodnění podloží cesty.

Gabion se osadí do země zapuštěného L profilu 180/180 tak, aby nebyl vidět, a do něj budou ukotveny kolmé a vodorovné injekční zavrtávací tyče TITAN 40/20 délky 9 m v horní

části a 12 m a 15 m ve střední části. Délka jednotlivých kotev je určena dle polohy smykové plochy. Ve střední části svahu jsou tedy kotvy nejdelší, jelikož je zde smyková plocha nejhlouběji. Kořen kotev bude po zavrtání na konečnou délku prvku 3 m injektován cementovou směsí. Kotvy jsou navrženy s roztečí 1,5 m, aby nedošlo k ohýbání L profilu. Úklon kotev je navržen 10° a 85 ° od horizontály.

V rámci výstavby gabionových zdí je navrženo vybudování nového tělesa cesty na novém podkladu, opřené o kotvenou gabionovou zeď.

Ve spodní části u paty svahu je pak navrženo hřebíkování svahu 1m nad dříve vybudovanou opěrnou gabionovou zdí. Toto umístění bylo zvoleno vzhledem k dosahu vrtné soupravy. Hřebíkování bude provedeno pomocí injekčních zavrtávacích tyčí TITAN 30/16 délky 8 m. Hřebíky budou souběžně během zavrtávání injektovány směsí cementu. Hřebíky jsou navrženy ve třech řadách s horizontální roztečí 1,5 m a 1,0 m ve vertikálním směru. Úklon hřebíků je navržen 10° od horizontály. Jejich hlavy na povrchu budou zapojeny do ocelové sítě, zpevněné stříkaným betonem. Vznikne tím souvislá poloha vyztužené zeminy, která odolává zemním tlakům a chrání povrch svahu proti erozi.

Gabionové opěrné zdi u paty svahu jsou přerušovány vzrostlými stromy, které by měly částečně zakrýt hřebíkovanou část svahu. Případně je možnost výsadby keřů nad gabionovou zdí, aby došlo k zakrytí v celé délce svahu.

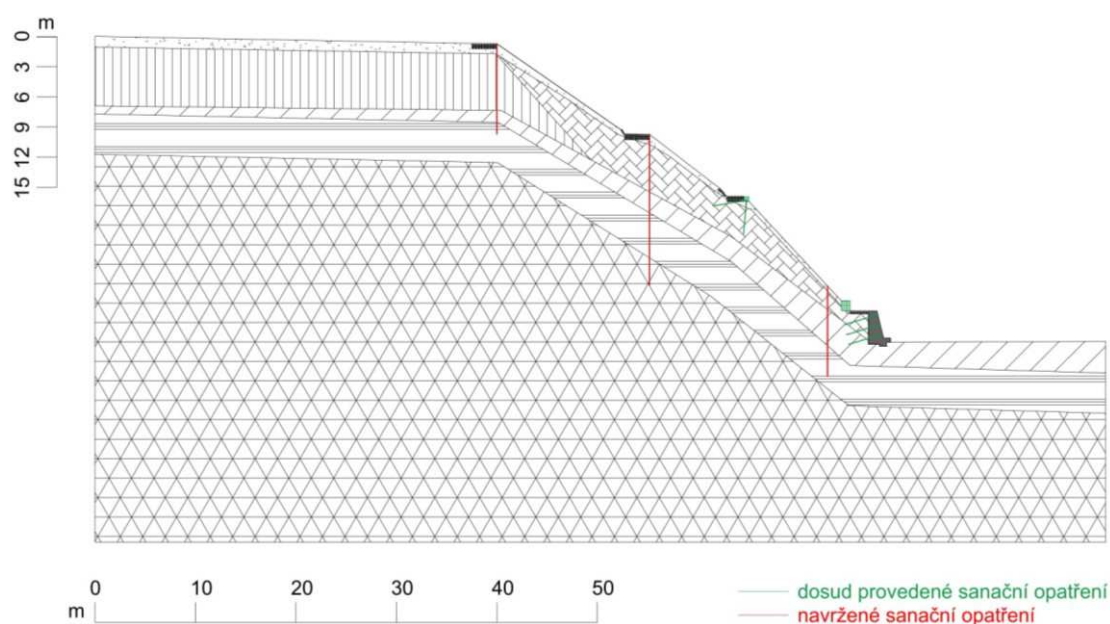
Součástí sanačních opatření je dále navržena úprava vegetačního krytu a úprava terénu svahu v místě navržených gabionových zdí a hřebíkování. Ve střední části svahu je navržena oprava porušené nízké betonové obkladní zídky podél cesty, jejíž účelem je ochrana svahu před zvětváváním a zamezení ploužení zeminy až do drenážních žlabů. Dále je navržena oprava nebo vybudování nových drenážních žlabů podél cesty ve svahu.

6.2. Návrh druhého sanačního opatření pomocí mikropilot

Navržená sanace řešeného svahu se skládá z:

- mikropilot ve spodní, střední a horní části svahu
- dílčích oprav dosud provedených sanačních opatření
- úpravy vegetace
- úpravy terénu svahu

Navržené prvky sanačního opatření jsou zakresleny v *obrázku 32* (podrobnější zakreslení viz. *příloha 3 – výkres 2*).



Obr. 32: Návrh sanačního opatření pro variantu 2

Jako druhé sanační opatření svahu je zvoleno použití mikropilot. V horní a střední části svahu jsou mikropiloty umístěny na hraně svahu a zapuštěny do úrovně cesty. Ve spodní části u paty svahu jsou pak navrženy 1 m nad opěrnou gabionovou zdí.

Mikropiloty budou provedeny pomocí injekčních zavrtávacích tyčí TITAN 103/51 délky 9 m v horní a spodní části a 15 m ve střední části. Délka je určena dle polohy smykové plochy v řešených místech. Mikropiloty budou souběžně během zavrtávání injektovány směsí cementu a budou následně upnuty do ŽB trámu o rozměrech 0,3 x 0,5 m. Mikropiloty jsou navrženy v průměru 143 mm s roztečí 1,5 m

V rámci výstavby mikropilot je navrženo vybudování nového tělesa cesty v horní a střední části svahu na novém podkladu, opřené o mikropiloty.

Součástí navrhovaných sanačních opatření je dále navržena stejně jako v předešlé variantě úprava vegetačního krytu, úprava terénu svahu v místě navržených mikropilot, ve střední části

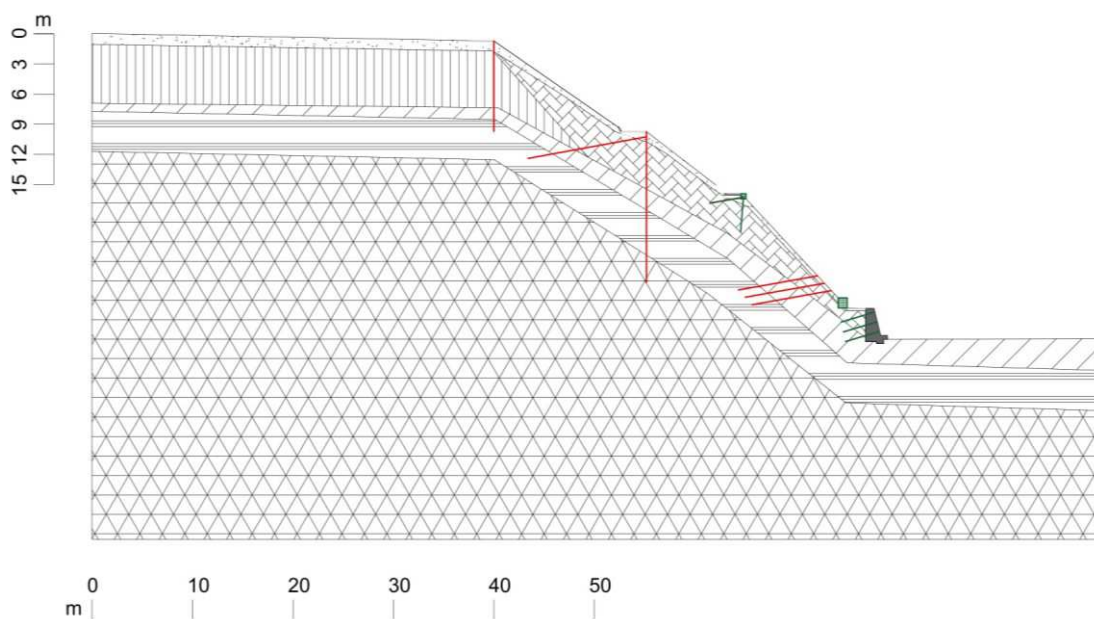
svahu oprava porušené nízké betonové obkladní zídky podél cesty a oprava nebo vybudování nových drenážních žlabů podél cesty ve svahu.

6.3. Návrh třetího sanačního opatření pomocí mikropilot, kotvených mikropilot a hřebíkování svahu

Navržená sanace řešeného svahu se skládá z:

- mikropilot v horní části svahu
- kotvených mikropilot ve střední části
- hřebíkování svahu ve spodní části svahu
- dílčích oprav dosud provedených sanačních opatření
- úpravy vegetace
- úpravy terénu svahu

Navržené prvky sanačního opatření jsou zakresleny v *obrázku 33* (podrobnější zakreslení viz. *příloha 3 – výkres 3*).



Obr. 33: Návrh sanačního opatření pro variantu 3

Pro třetí sanační opatření svahu je zvoleno použití mikropilot v horní části, které budou provedeny stejným způsobem jako ve variantě č. 2. Ve střední části jsou navrženy kotvené mikropiloty umístěny na hraně svahu a zapuštěny do úrovně cesty. Mikropiloty budou provedeny taktéž pomocí injekčních zavrtávacích tyčí TITAN 103/51 délky 15 m v průměru

143 mm s roztečí 1,5 m. Mikropiloty budou následně upnuty do ŽB trámu o rozměrech 0,3 x 0,5 m a budou kotveny 0,5 m od hlavy pomocí injekčních zavrtávacích tyčí TITAN 40/20 délky 12 m. Kořen kotev bude po zavrtání na konečnou délku prvku 3 m injektován cementovou směsí. Kotvy jsou navrženy s roztečí 1,5 m a úklonem 10° od horizontály.

V horní a střední části svahu je pak navrženo vybudování nového tělesa cesty na novém podkladu, opřené o mikropiloty.

Pro sanaci spodní části u paty svahu je zvoleno hřebíkování svahu nad opěrnou gabionovou zdí stejným způsobem jako ve variantě č. 1.

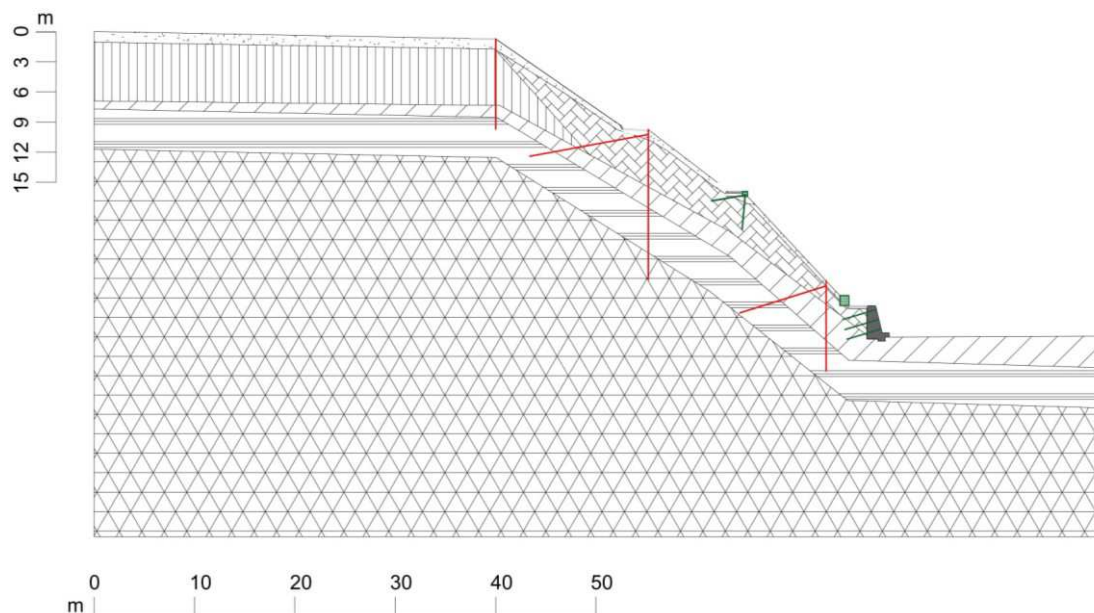
Součástí těchto sanačních opatření je dále navržena stejně jako v předešlých variantách úprava vegetačního krytu, úprava terénu svahu v místě mikropilot, ve střední části svahu oprava porušené nízké betonové obkladní zídky podél cesty a oprava nebo vybudování nových drenážních žlabů podél cesty ve svahu.

6.4. Návrh čtvrtého sanačního opatření pomocí mikropilot a kotvených mikropilot

Navržená sanace řešeného svahu se skládá z:

- mikropilot v horní části svahu
- kotvených mikropilot ve střední části
- hřebíkování svahu ve spodní části svahu
- dílčích opravy dosud provedených sanačních opatření
- úpravy vegetace
- úpravy terénu svahu

Navržené prvky sanačního opatření jsou zakresleny v *obrázku 34* (podrobnější zakreslení viz. *příloha 3 – výkres 4*).



Obr. 34: Návrh sanačního opatření pro variantu 4

V posledním sanačním opatření svahu je navrženo v horní části použití mikropilot a ve střední části kotvených mikropilot, stejným způsobem jako u předchozí třetí varianty.

V rámci daných sanačních opatření je navrženo vybudování nového tělesa cesty v horní a střední části svahu na novém podkladu, opřené o mikropiloty.

Ve spodní části u paty svahu jsou pro sanaci zvoleny také kotvené mikropiloty umístěné 1 m nad opěrnou gabionovou zdí. Způsob provedení bude totožný jako ve střední části, pouze délka mikropilot a kotev bude 9 m.

Součástí sanačních opatření je dále navržena stejně jako v předešlých variantách úprava vegetačního krytu, úprava terénu svahu v místě mikropilot, ve střední části svahu oprava porušené nízké betonové obkladní zídky podél cesty a oprava nebo vybudování nových drenážních žlabů podél cesty ve svahu.

7. Modelová analýza navržených variant sanací

Navržené varianty sanačních opatření byly zpracovány v jednotlivých matematických modelech v programu PLAXIS 2D a následně vyhodnoceny.

Modelování sanací navazuje na dvě předchozí fáze výpočtu viz. kapitola 5.3. Fáze s aktivací navržených sanačních opatření jsou označeny jako fáze 3. V tomto výpočtovém kroku byly použity dva konstitutivní materiálové modely (Mohr – Coulomb a linear elastic). Byl zvolen typ výpočtu „Plastic“. Dále bylo třeba určit stupeň stability, provedl se tedy výpočet typu „Safety“.

Stejně jako při analýze stávajícího stavu, byl svah řešen pro dvě varianty podloží svahu. V první variantě tvoří předkvarterní podloží svahu pískovce, jak bylo ověřeno vrtnými pracemi. V druhé variantě je podloží tvořeno jílovci.

Pro obě varianty podloží byl pak dále svah posuzován dle dvou situací. První situace charakterizuje svah za běžných podmínek. Druhá situace charakterizuje kritický stav, který má simulovat stoleté srážky. V tomto případě byla zemina 100% saturována vlivem srážek a HPV dosahovala povrchu terénu.

Ve fázi 3 bylo třeba do každého matematického modelu jednotlivých variant sanačních opatření vložit navržené konstrukční prvky a přiřadit jim vstupní parametry.

Kotvy byly do modelu vkládány pomocí prvku node-to-node anchor. Parametry kotev byly navoleny v záložce Anchor (Tab. 8). Pro kotvy gabionové zdi a piloty byly navrženy injekční zavrtávací tyče TITAN 40/20 s injektovaným kořenem.

Anchor		
Prvek	Rozpětí L_{spacing} [m]	EA [kN/m]
Kotvy gabionové zdi	2,0	205 774
Kotvy pilot	1,5	205 774

Tab. 8: Vstupní parametry kotev v záložce Anchor

Gabionové zdi byly do modelu zadávány jako zemina. Parametry gabionové zdi byly proto navoleny v záložce Soil, kde oproti zadávání zemin byl zvolen lineárně elastický model a materiál gabionové zdi byl určen jako Drained. V následující tabulce 9 jsou uvedeny zbylé parametry, které bylo třeba přiřadit.

Soil				
Prvek	γ [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	ν [-]	E [MPa]
Gabionová konstrukce	20,0	22,5	0,2	250

Tab. 9: Vstupní parametry gabionové zdi v záložce Soil

Mikropiloty byly vkládány do modelu pomocí Tunels designer. Jejich materiálové parametry byly zadávány v záložce Plate (Tab. 10). Mikropiloty byly navrženy v průměru 143 mm pomocí injekčních zavrtávacích tyčí TITAN 103/51 souběžně během zavrtávání injektovaných směsí cementu.

Plate			
Prvek	EA [kN/m]	EI [kNm ² /m]	w [kN/m/m]
Mikropiloty	1 566 150	2 669	0,720

Tab. 10: Vstupní parametry mikropilot v záložce Plate

Aplikace hřebíků do modelu byla zadána pomocí oblasti s větší soudržností, která zahrnuje vlastnosti hřebíků. Tento postup byl zvolen z důvodu jednoduššího zadávání většího počtu hřebíků do modelu a především proto, že by hřebíky nepůsobily ve výpočtech správně. Oblast ohraničuje působení hřebíků ve svahu. Parametr soudržnosti zeminy soudržnější oblasti se vypočítá podle následujícího vztahu:

$$c'' = \frac{1+\sin\varphi}{2\cdot\cos\varphi} \cdot \frac{F}{a\cdot b} \quad (2)$$

$$c' = \frac{c''}{1,5} \quad (3)$$

$$c_{soudr\check{z}} = c' + c_{p\check{u}v} \quad (4)$$

Kde: c'' soudržnost hřebíků
 c' výpočtová soudržnost
 $c_{p\check{u}v}$ původní soudržnost
 $c_{soudr\check{z}}$ celková soudržnost hřebíkované oblasti
 φ úhel vnitřního tření zeminy
 F únosnost hřebíku
 a, b návrhové rozteče tyčí ve směrech x a y [1]

Pro hřebíkování byly zvoleny injekční zavrtávací tyče TITAN 30/16 délky 8 m. Výrobce udává únosnost hřebíku 260 kN. Dle výše uvedených vzorců byly vypočteny parametry soudržnosti zeminy soudržnější oblasti, kde působí hřebíky. Zeminy se zvýšenou soudržností pak byly vkládány do modelu do oblasti působení hřebíků. V následující *tabulce 11* jsou uvedeny parametry soudržnosti zeminy soudržnější oblasti.

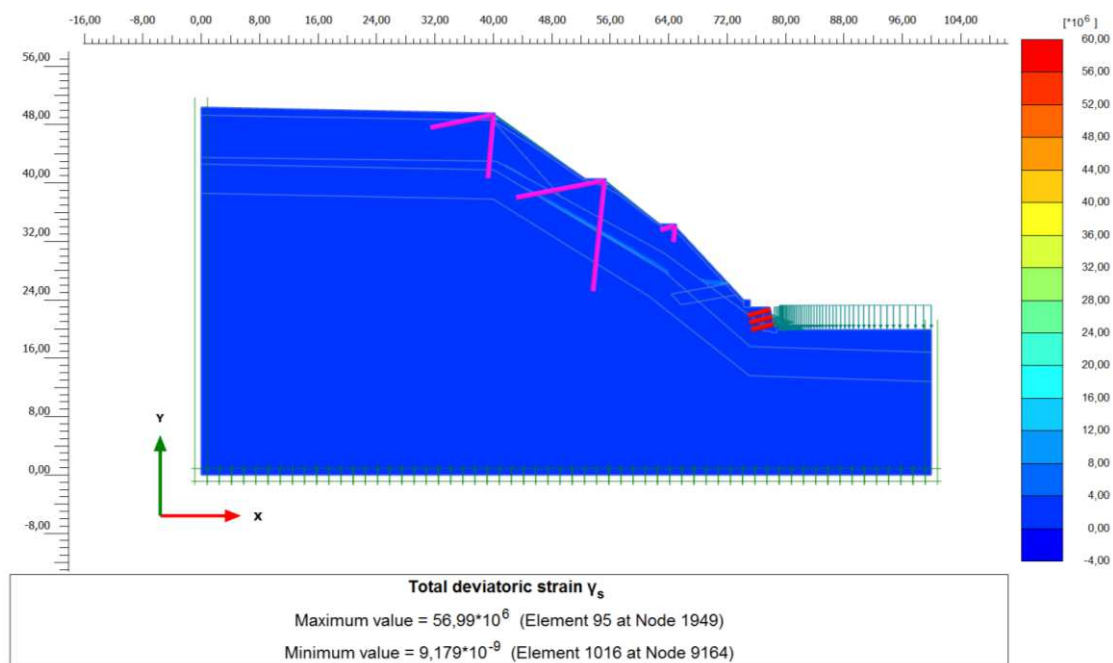
Soudržnost hřebíkované oblasti					
Zemina	φ [°]	c'' [kPa]	c' [kPa]	$c_{p\u00e1v}$ [kPa]	$c_{soudr\u017e}$ [kPa]
Y – Svahové sedimenty	26	138	92	12	104
F2 CG – Jíl štěrkovitý	30	150	100	14	114
G5 GC – Štěrka jílovitý	28	144	96	14	110
R5 – Pískovec silně porušený	25	136	90	30	120
R6 – Jílovec silně porušený	24	133	88	30	118

Tab. 11: Soudržnost hřebíkované oblasti

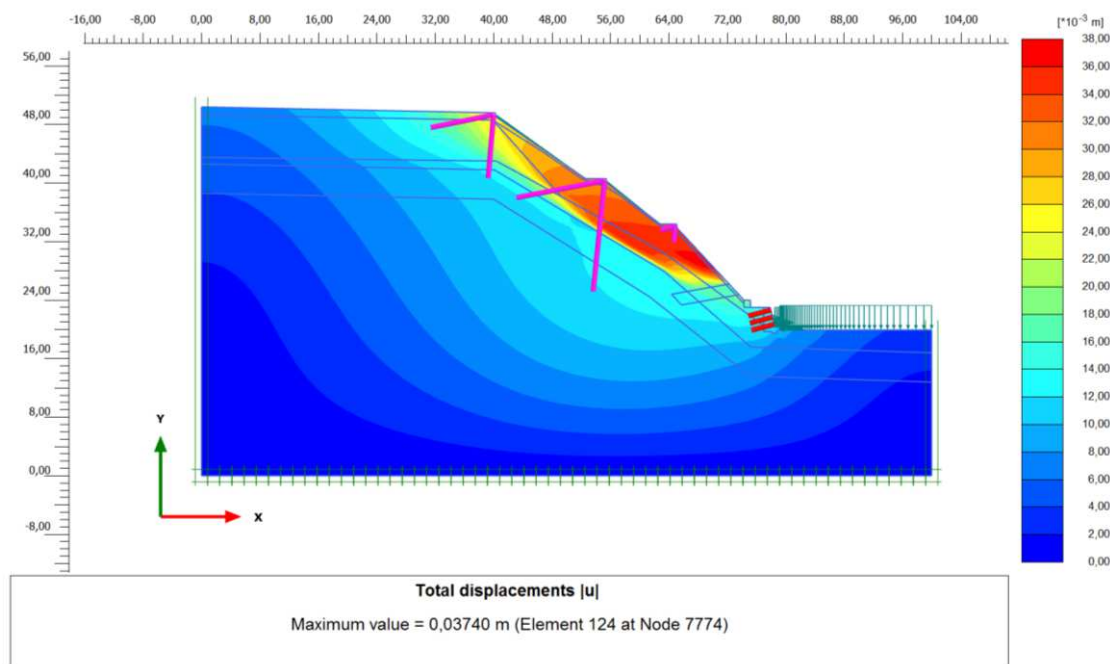
Vzhledem k velkému objemu grafických dat je následně vždy uvedena pouze modelová analýza pro variantu podloží 1 (podloží svahu tvořeno pískovcem, jež bylo prokázáno vrtnými pracemi) a to pro kritický stav svahu. Grafické výstupy varianty 2 (podloží svahu tvořeno jílovcem) jsou uvedeny v *příloze č. 2*. Pro přehlednost hodnocení jsou výsledky stupně stability uvedeny v tabulkách pro obě varianty podloží, ale slovně okomentovány jen pro variantu podloží tvořeného pískovcem.

7.1. Modelová analýza prvního sanačního opatření

Jedná se o sanační opatření pomocí kotvených gabionových zdí v horní a střední části svahu a hřebíkování u paty svahu.



Obr. 35: Výstup z PLAXIS 2D – kritický stav - průběh smykové plochy (podloží tvořeno pískovcem)



Obr. 36: Výstup z PLAXIS 2D – kritický stav – absolutní posuny (podloží tvořeno pískovcem)

Fáze 3 – Aktivace navržených sanačních opatření		
Varianta podloží svahu	Stupeň stability ΣM_{sf}	
	Běžný stav svahu	Kritický stav svahu
1 - PÍSKOVEC	1,29	1,09
2 - JÍLOVEC	1,26	1,07

Tab. 12: Stupeň stability

Z grafického výstupu je zřejmé, že díky této metodě sanace došlo k přerušení smykové plochy (Obr. 35) a ke snížení absolutních posunů v posuzovaném svahu (Obr. 36).

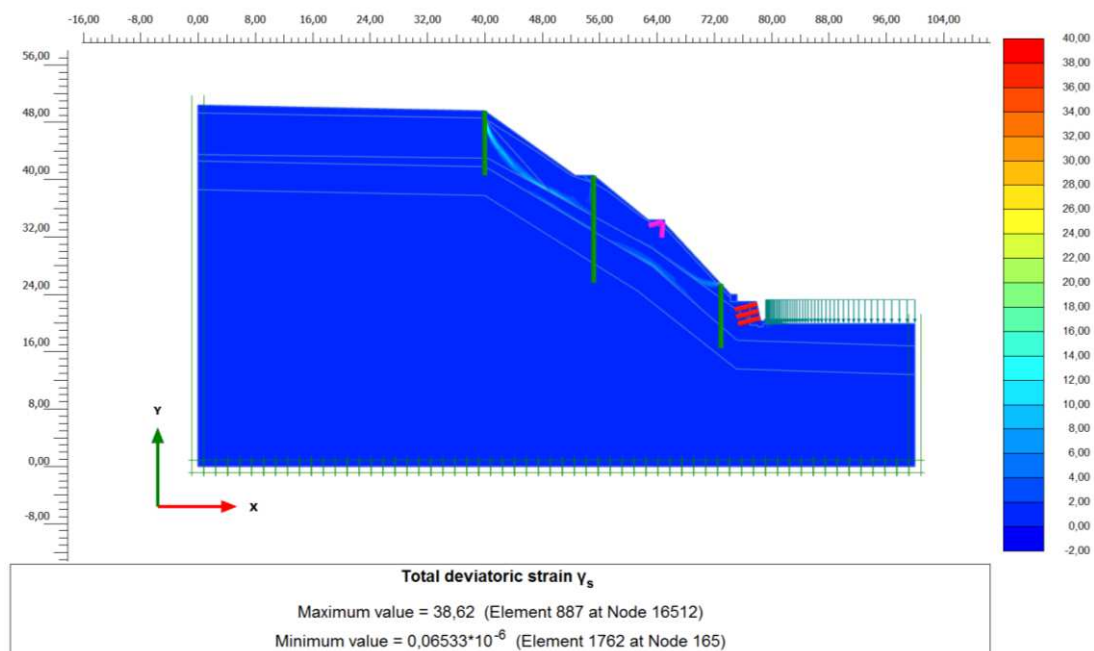
Dle modelové analýzy metodou konečných prvků však nedošlo k výraznému zvýšení stupně stability (Tab. 12). Stupeň stability se oproti stávajícímu stavu, kdy stupeň stability byl roven 1,19, zvýšil na 1,29 za běžných podmínek. Pro trvale stabilizované svahy je třeba dosáhnout hodnoty 1,5.

V případě kritického stavu svahu, kdy je zemina 100% saturována, došlo sice také ke zvýšení stupně stability na hodnotu 1,09, díky čemuž už byla splněna podmínka rovnováhy pro svah za kritických podmínek oproti stávajícímu stavu, ale stále je na její hranici.

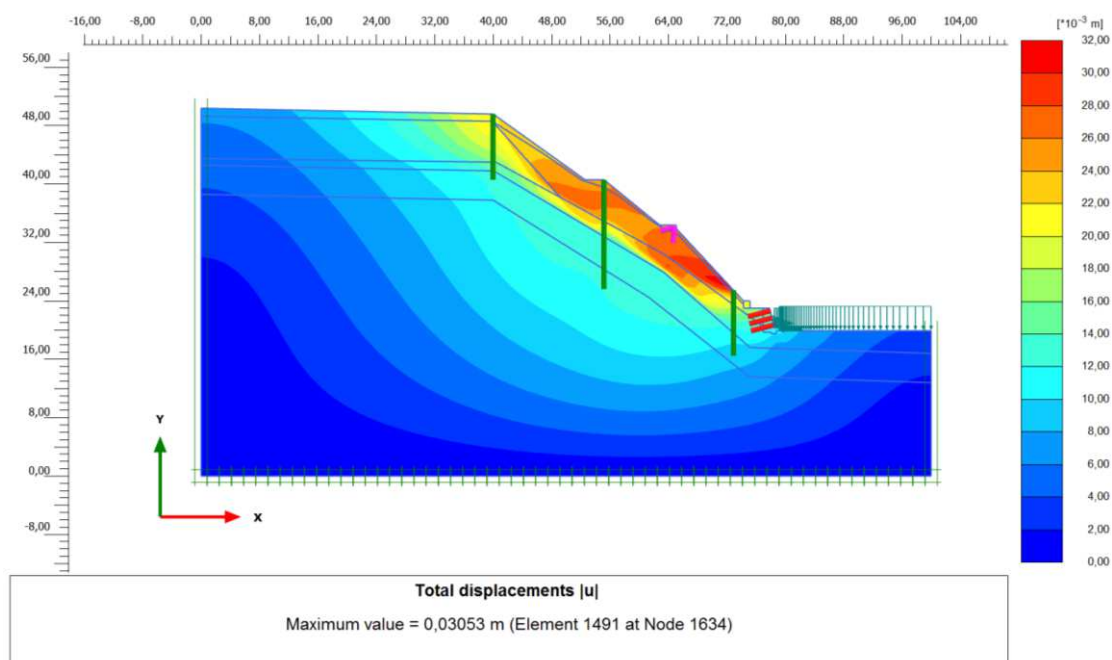
Ve skutečnosti bude hodnota stupně stability ale pravděpodobně vyšší z důvodu existence kořenového systému ve svahu a řízeného odvodu dešťové vody pomocí drenážních žlabů podél cesty ve svahu.

7.2. Modelová analýza druhého sanačního opatření

Jedná se o sanační opatření pomocí mikropilot.



Obr. 37: Výstup z PLAXIS 2D – kritický stav - průběh smykové plochy (podloží tvořeno pískovcem)



Obr. 38: Výstup z PLAXIS 2D – kritický stav - absolutní posuny (podloží tvořeno pískovcem)

Fáze 3 – Aktivace navržených sanačních opatření		
Varianta podloží svahu	Stupeň stability ΣM_{sf}	
	Běžný stav svahu	Kritický stav svahu
1 - PÍSKOVEC	1,50	1,26
2 - JÍLOVEC	1,46	1,24

Tab. 13: Stupeň stability

Při použití tohoto sanačního opatření se podařilo smykovou plochu v posuzovaném svahu přerušit (Obr. 37) a došlo ke snížení absolutních posunů ve svahu oproti stávajícímu stavu (Obr. 38).

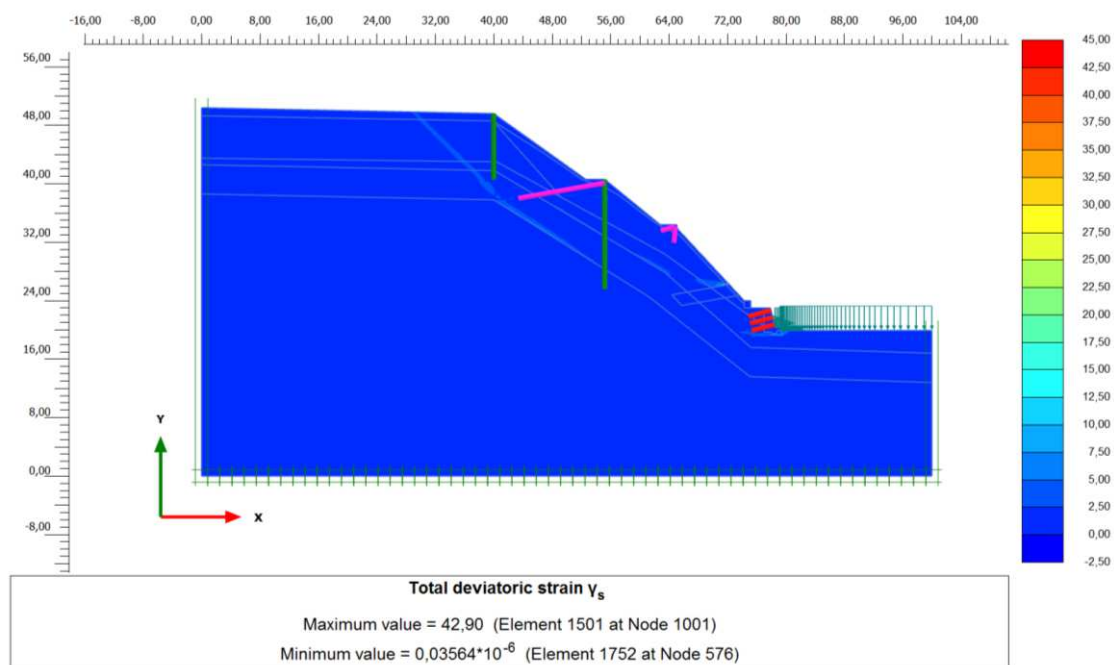
Zde už v rámci modelové analýzy došlo k výraznějšímu zvýšení stupně stability a to na hodnotu 1,50 za běžných podmínek (Tab. 13). Pro trvale stabilizované svahy je podle ČSN EN 1997 – 1 daná hodnota stupně stability větší než 1,5. Výsledná hodnota je tedy na hranici.

Stupeň stability za kritických podmínek se oproti stávajícímu stavu, kdy stupeň stability byl roven 0,96, zvýšil na 1,26, ale hodnoty pro trvale stabilizované svahy nedosáhl.

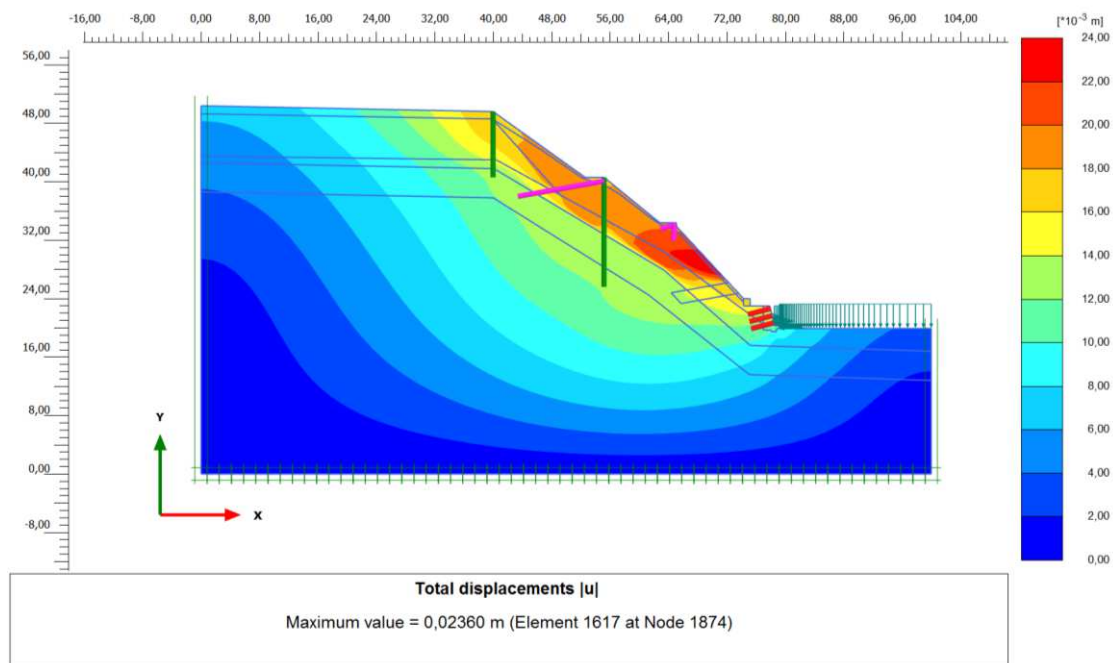
Ve skutečnosti bude ale hodnota stupně stability pravděpodobně vyšší z důvodu existence kořenového systému ve svahu a řízeného odvodu dešťové vody pomocí drenážních žlabů podél cesty ve svahu.

7.3. Modelová analýza třetího sanačního opatření

Jedná se o sanační opatření pomocí mikropilot v horní části svahu, kotvených mikropilot ve střední části a hřebíkování u paty svahu.



Obr. 39: Výstup z PLAXIS 2D – kritický stav - průběh smykové plochy (podloží tvořeno pískovcem)



Obr. 40: Výstup z PLAXIS 2D – kritický stav - absolutní posuny (podloží tvořeno pískovcem)

Fáze 3 – Aktivace navržených sanačních opatření		
Varianta podloží svahu	Stupeň stability ΣM_{sf}	
	Běžný stav svahu	Kritický stav svahu
1 - PÍSKOVEC	1,57	1,35
2 - JÍLOVEC	1,55	1,33

Tab. 14: Stupeň stability

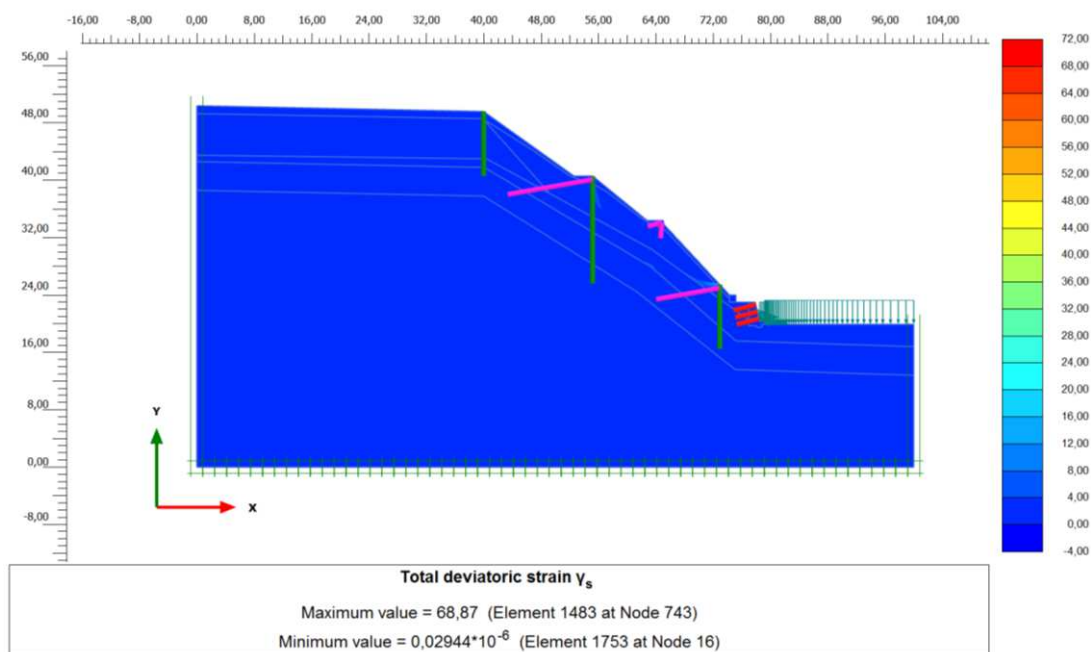
Třetí aplikovanou variantou sanačního opatření došlo opět k přerušení smykové plochy (Obr. 39) a ke snížení absolutních posunů v posuzovaném svahu (Obr. 40).

V tomto případě se stupeň stability oproti předchozí variantě ještě zvýšil a to na hodnotu 1,57 (Tab. 14). Hodnotu stupně stability 1,5 pro trvale stabilizované svahy byla dosažena.

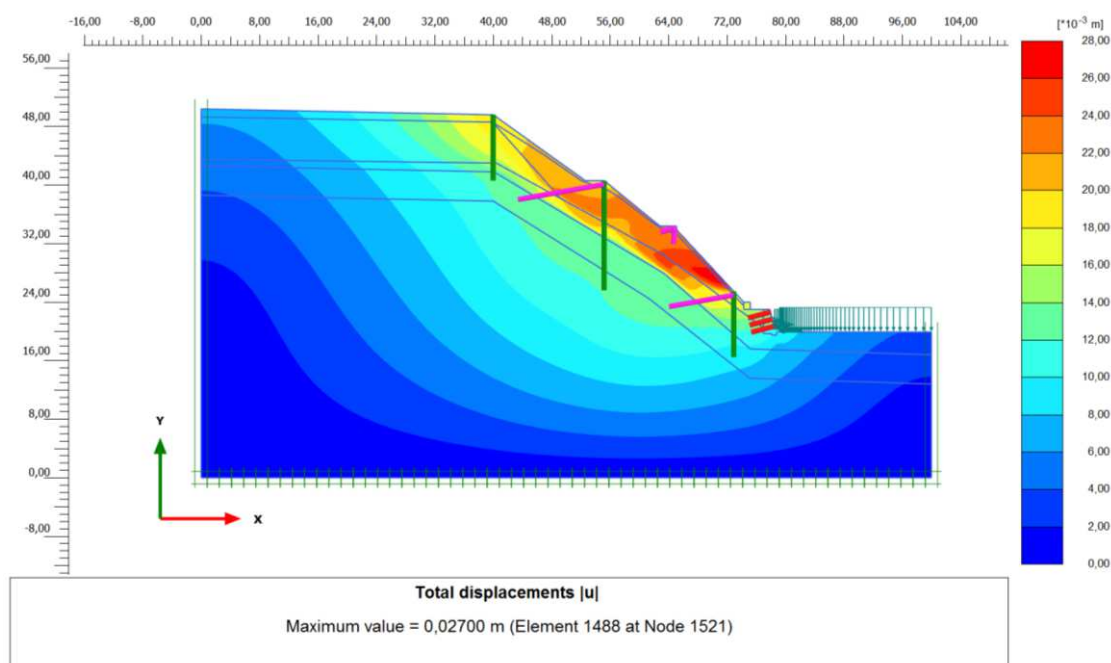
Za kritických podmínek se stupeň stability taktéž zvýšil. Hodnoty 1,5 nedosáhl, ale ve skutečnosti bude stupeň stability pravděpodobně vyšší z důvodu existence kořenového systému ve svahu a řízeného odvodu dešťové vody pomocí drenážních žlabů podél cesty ve svahu.

7.4. Modelová analýza čtvrtého sanačního opatření

Jedná se o sanační opatření pomocí mikropilot v horní části svahu a kotvených mikropilot ve střední části a u paty svahu.



Obr. 41: Výstup z PLAXIS 2D – kritický stav - průběh smykové plochy (podloží tvořeno pískovcem)



Obr. 42: Výstup z PLAXIS 2D – kritický stav - absolutní posuny (podloží tvořeno pískovcem)

Fáze 3 – Aktivace navržených sanačních opatření		
Varianta sanačního opatření	Stupeň stability	
	ΣM_{sf}	
	Běžný stav svahu	Kritický stav svahu
1 - PÍSKOVEC	1,56	1,31
2 - JÍLOVEC	1,44	1,22

Tab. 15: Stupeň stability

Díky aplikaci čtvrtého sanačního opatření byla smyková plocha v posuzovaném svahu opět přerušena (*Obr. 41*) a došlo ke snížení absolutních posunů ve svahu oproti stávajícímu stavu (*Obr. 42*).

V rámci této modelové analýzy stupeň stability za běžných podmínek dosáhl hodnoty 1,56 (*Tab. 15*). Použitím tohoto sanačního opatření bylo dosaženo hodnoty 1,5 za běžných podmínek, čímž je splněna podmínka, které by měl trvale stabilizovaný svah dle ČSN EN 1997 – 1 dosáhnout.

Pro kritický stav vyšel stupeň stability 1,31. Hodnoty pro trvale stabilizované svahy nedosáhl, ale ve skutečnosti bude hodnota stupně stability pravděpodobně vyšší z důvodu existence kořenového systému ve svahu a řízeného odvodu dešťové vody pomocí drenážních žlabů podél cesty ve svahu.

8. Porovnání jednotlivých variant sanací

V rámci řešeného problému byly teoreticky zpracovány čtyři varianty sanačních opatření, které byly navrhovány pro dvě varianty podloží svahu. Jednotlivé varianty byly řešeny jak za běžných podmínek, tak i za kritických, kdy je zemina 100% saturována vlivem srážek a HPV dosahuje povrchu terénu.

Pro každou navrženou variantu sanačního opatření byl vytvořen a následně vyhodnocen matematický model v programu PLAXIS 2D.

Z výsledků programu je zřejmé, že ve všech navrhovaných variantách sanací se povedlo ve svahu přerušit smykové plochy a snížit absolutní posuny oproti stávajícímu stavu.

V následujících *tabulkách 16 a 17* jsou uvedeny výsledné hodnoty stupňů stability pro všechna navržená opatření.

Varianta 1 – podloží tvořeno pískovcem		
Fáze	Stupeň stability ΣM_{sf}	
	Běžný stav svahu	Kritický stav svahu
Stávající stav	1,19	0,95
Varianta sanačního opatření 1	1,29	1,09
Varianta sanačního opatření 2	1,57	1,35
Varianta sanačního opatření 3	1,57	1,35
Varianta sanačního opatření 4	1,56	1,31

Tab. 16: Srovnání sanačních opatření dle stupně stability pro podloží tvořeno pískovcem

Varianta 2 – podloží tvořeno jílovcem		
Fáze	Stupeň stability	
	ΣM_{sf}	
	Běžný stav svahu	Kritický stav svahu
Stávající stav	1,16	0,96
Varianta sanačního opatření 1	1,26	1,07
Varianta sanačního opatření 2	1,40	1,19
Varianta sanačního opatření 3	1,55	1,33
Varianta sanačního opatření 4	1,44	1,22

Tab. 17: Srovnání sanačních opatření dle stupně stability pro podloží tvořeno jílovcem

První aplikovanou variantou bylo sanační opatření pomocí kotvených gabionových zdí v horní a střední části svahu a hřebíkování u paty svahu. Z modelové analýzy metodou konečných prvků však nedošlo k výraznému zvýšení stupně stability. Stupeň stability se zvýšil pouze o 0,1 za běžných podmínek.

Druhým řešením bylo zvoleno sanační opatření pomocí mikropilot. Zde už v rámci modelové analýzy došlo k výraznějšímu zvýšení stupně stability a to na hodnotu 1,49 za běžných podmínek.

Pro třetí sanační opatření bylo zvoleno použití mikropilot v horní části svahu, kotvených mikropilot ve střední části a hřebíkování u paty svahu. V tomto případě se dosáhlo nejvyššího stupně stability, a to hodnoty 1,57.

Poslední aplikovanou variantou bylo sanační opatření pomocí mikropilot v horní části svahu a kotvených mikropilot ve střední části a u paty svahu. Při použití tohoto sanačního opatření byl stupeň stability roven 1,56 za běžných podmínek.

Pro všechny navrhované varianty sanace vyhověla podmínka $\Sigma M_{sf} \geq 1$ i za kritických podmínek.

Pro trvale stabilizované svahy je podle ČSN EN 1997 – 1 daná hodnota stupně stability větší než 1,5. Této podmínce vyhověla za běžných podmínek 3. a 4. varianta sanace. U varianty 2 byla hodnota stupně stability přesně rovna 1,5. Varianta 1 této podmínce nevyhověla. Ve skutečnosti budou ale hodnoty stupně stability pravděpodobně vyšší z důvodu existence kořenového systému ve svahu a řízeného odvodu dešťové vody pomocí drenážních žlabů podél cesty ve svahu.

Z výsledků matematického modelování se zdá jako nejméně účinná varianta sanace 1. Ve 2. variantě došlo sice k navýšení stupně stability a snížení absolutních posunů, ale byly použity pouze svislé prvky, které by nemusely dobře odolávat působícím příčným silám vznikajícím ve svahu. Jako vhodná varianta sanace daného svahu vyplývá třetí nebo čtvrtá varianta sanačních opatření, kde jsou v kritických místech svahu svislé prvky kotveny a tlačeny do svahu. Tato kombinace prvků použitých pro sanaci by měla dobře odolávat negativnímu působení sesuvu.

Z konstrukčního hlediska jsou tyto dvě navržené varianty sanace velice podobné, neboť hlavní úlohu ve stabilizaci svahu mají v obou případech kotvící prvky v kombinaci s mikropilotami.

Podle technologického postupu se návrhy v horní a střední části svahu neliší. Ve spodní části jsou pak odlišné. Pro variantu 3 bylo zvoleno hřebíkování svahu ve třech řadách, kdy jsou hřebíky při zavrtávání souběžně proinjektovány cementovou směsí a jejich hlavy na povrchu zapojeny do ocelové sítě, zpevněné stříkaným betonem. Ve 4. variantě byly navrženy kotvené mikropiloty, kdy je třeba mikropiloty kotvit a upnout do ŽB trámu. Technologicky náročnější se tedy jeví 4. varianta.

Aplikace mikropilot nebo kotev patří v dnešní době mezi běžná sanační opatření. Stavební firmy jsou s těmito technologiemi dobře seznámeny, proto je riziko jejich provádění malé. Ovšem geologická stavba daného prostředí může být nevyzpytatelná, tudíž není nikdy zajištěno, že tyto práce budou provedeny bez komplikací.

Z finančního hlediska se odhaduje 4. varianta jako dražší. Vzhledem k většímu objemu použitého materiálu, strojů a časové náročnosti.

Na základě výše uvedeného porovnání se jeví varianta 3 jako nejvhodnější sanační opatření. Bylo dosaženo nejvyšší hodnoty stupně stability, je technologicky jednodušší a levnější oproti variantě 4.

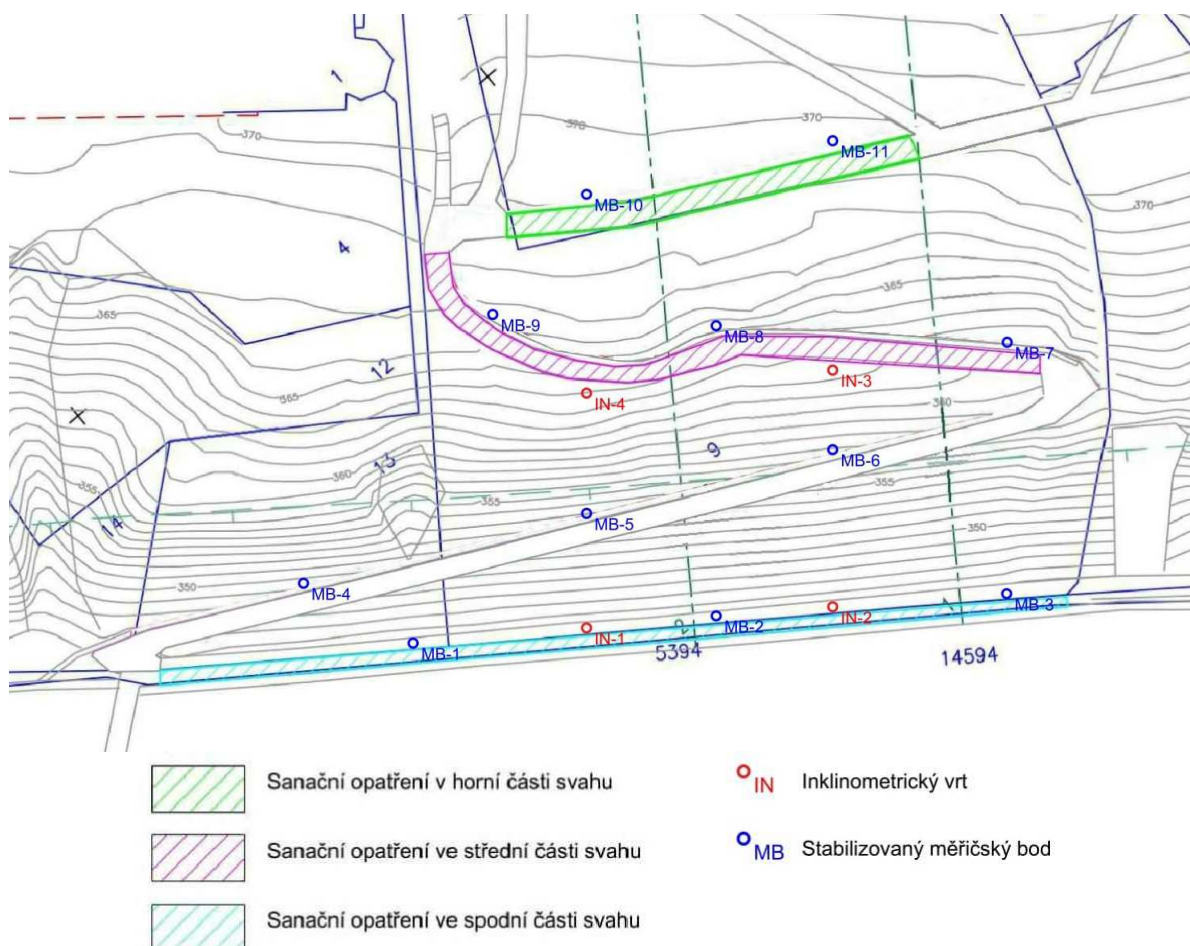
Při srovnání dosažených výsledků z hlediska variant podloží svahu vychází lépe podloží tvořeno pískovcem. Rozdíl je ale poměrně malý.

Vzhledem k výsledkům, které se pohybují na hranici trvale stabilizovaného svahu by bylo vhodné k sanačním opatřením navrhnout následný geotechnický monitoring dalších eventuelních svahových pohybů viz. kapitola 9.

9. Návrh geotechnického monitoringu

Součástí provedených sanačních opatření byl navržen také následný geotechnický monitoring dalších eventuelních svahových pohybů. V rámci monitoringu je naprojektován systém hloubkového inklinometrického měření ve vrtu v kombinaci s povrchovým geodetickým měřením pomocí pevných stabilizovaných měřičských bodů.

V daném svahu jsou navrženy 4 inklinometrické vrty pro sledování pohybů na smykové ploše. Inklinometrické vrty musí zasahovat pod smykovou plochu. U paty svahu jsou navrženy dva vrty v délce 10,0 m (VN-1, VN-2) a dva vrty ve střední části svahu v délce 15,0 m (VN-3, VN-4). Prostorové deformace povrchu svahu budou sledovány geodeticky pomocí 11 stabilizovaných měřičských bodů. Umístění monitorovacích prvků je znázorněno na *obrázku. 43.*



Obr. 43: Návrh monitoringu svahu [32; úprava autor]

10. Závěr

Cílem diplomové práce bylo posouzení stability pravostranného svahu řeky Bečvy ve Vsetíně, v řkm 20,000 – 20,200 a vypracování návrhu nezbytných stabilizačních opatření.

Práce se v úvodu zabývá problematikou svahových pohybů. Popisuje jejich vznik a příčiny těchto nestabilit. Dále se práce zmiňuje o možných sanačních opatřeních, kterými se oblasti stabilizují.

Další část už se zabývá popisem lokality daného svahu z hlediska geomorfologického, geologického a hydrogeologického. Součástí popisu jsou i výsledky vlastní průzkumné činnosti a zhodnocení stávajícího stavu řešeného svahu.

Ploužení se v řešeném svahu projevuje především ohýbáním kmenů vzrostlých stromů (opilé stromy). Ve střední části svahu je značně porušena obkladní zídka podél pěší cesty. Samotný chodník ve svahu je již na několika místech značně deformován, zejména v horní a střední části. Za aktivní faktory jsou považovány srážky a nasycení vodou.

V posledních letech se svah podařilo částečně stabilizovat, bylo vybudováno několik stabilizačních opatření. Ke zvýšení stability svahu také přispívá stromový pokryv, který svým kořenovým systémem zpevňuje svrchní část svahu a spotřebovává část podzemní vody.

V programu PLAXIS 2D byl na základě zaměření svahu a vrtné prozkoumanosti vypracován matematický model řešené situace, který posuzuje stávající stav pomocí metody konečných prvků.

Na základě analýzy stávajícího stavu byly následně navrženy čtyři varianty sanačních opatření, které by měly přispět ke stabilizaci daného svahu. Pro každou variantu byla následně provedena taktéž modelová analýza.

První aplikovanou variantou bylo sanační opatření pomocí kotvených gabionových zdí v horní a střední části svahu a hřebíkování u paty svahu. Druhým řešením bylo zvoleno sanační opatření pomocí mikropilot. Pro třetí variantu sanace bylo použito mikropilot v horní části svahu, kotvených mikropilot ve střední části a hřebíkování u paty svahu. Poslední aplikovaná varianta byla obměnou předchozího řešení, kdy ve spodní části u paty svahu byly použity kotvené mikropiloty.

Pro všechny navrhované varianty sanace vyhověla podmínka $\Sigma M_{sf} \geq 1$ i za kritických podmínek.

Pro trvale stabilizované svahy je podle ČSN EN 1997 – 1 daná hodnota stupně stability větší než 1,5. Této podmínce vyhověla za běžných podmínek 3. a 4. varianta sanace. U varianty 2 byla hodnota stupně stability přesně rovna 1,5. Ve skutečnosti budou ale hodnoty

stupně stability pravděpodobně vyšší z důvodu existence kořenového systému ve svahu a řízeného odvodu dešťové vody pomocí drenážních žlabů podél cesty ve svahu.

Z výsledků matematického modelování se zdá vhodná třetí nebo čtvrtá varianta sanace, kde hlavní úlohu ve stabilizaci svahu mají v obou případech kotvící prvky v kombinaci s mikropilotami. V kritických místech jsou svislé prvky kotveny a tlačeny do svahu. Tato kombinace prvků, použitých pro sanaci, by měla dobře odolávat negativnímu působení sesuvu.

Na základě porovnání z hlediska zvýšení stability, konstrukčního, technologického i finančního vychází varianta 3 jako nejvhodnější sanační opatření. Díky ní bylo dosaženo nejvyšší hodnoty stupně stability, je technologicky jednodušší a levnější oproti variantě 4.

Při srovnání dosažených výsledků z hlediska variant podloží svahu, vyšlo lépe podloží tvořeno pískovcem. Rozdíl je ale poměrně malý.

Vzhledem k výsledkům, které se pohybují na hranici trvale stabilizovaného svahu, byl k sanačním opatřením navržen následný geotechnický monitoring dalších eventuelních svahových pohybů.

11. Seznam použité literatury a podkladů

Odborná literatura a články

- [1] ALDORF, Josef a Lukáš ĎURIŠ. Alternativní možnosti matematického modelování stability svahů sanovaných hřebíkováním. Ostrava: VŠB-TUO, Fakulta stavební
- [2] HORÁK, Vladislav. *Mechanika hornin, Modul BF05-M004*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2006
- [3] HULLA, Jozef. *Predpoklady a skutočnosť v geotechnickom inžinierstve*. Bratislava: Jaga group, 2002. ISBN 80-88905-42-7.
- [4] HULLA, Jozef. *Zakladanie stavieb*. Bratislava: Jaga group, 2004. ISBN 80-889-0599-0
- [5] KAHÁNEK, Jakub. *Posouzení sesuvu levého svahu potoka Dolní Rozpítý v Dolní Bečvě*. Ostrava 2016
- [6] KREJČÍ, Oldřich. *Stanovisko ČGS k žádosti města Vsetína o stanovisko k sesuvnému území „Vsetín – Svah u Bečvy, Palackého ulice“*. Brno 2013
- [7] MENČÍK, Eduard. *Geologie Moravskoslezských Beskyd a Podbeskydské pahorkatiny*. Praha: Academia, 1983.
- [8] MINOVA BOHEMIA s.r.o. *Technický list – Injekční zavrtávací kotevní tyče typu TITAN*. 05 / 2015
- [9] PROCHÁZKA, Jiří, EKOAUDIT, spol. s r.o. *Změna č. 3 územního plánu Vsetín- vyhodnocení vlivů na životní prostředí (SEA), ve smyslu stavebního zákona č. 183/2006 Sb. ve znění pozdějších předpisů*. Brno 2014
- [10] RADIMSKÝ, Michal. *Projektování pozemních komunikací, Modul 5*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2007
- [11] ZÁRUBA, Quido a Vojtěch MENCL. *Sesuvy a zabezpečování svahů*. 2. přeprac. a dopl. vyd. Praha: Academia, 1987.

Internetové podklady

- [12] Moravskoslezské Beskydy. *Moravské-Karpaty.cz*. [online]. [cit. 2017-05-30]. Dostupné z: <http://moravske-karpaty.cz/prirodni-pomery/geomorfologie/svahove-pohyby/>
- [13] Svahové pohyby. *Teara.govt.nz*. [online]. [cit. 2017-05-30]. Dostupné z: <https://www.teara.govt.nz/en/diagram/8782/landslide-types>
- [14] Svahové nestability. *Geology.cz*. [online]. [cit. 2017-05-30]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/svahovenestability/pojmy>

- [15] Sanační opatření. *MARSCHALKO, MÜLLEROVÁ a IDEŠ. Svahové deformace*[online]. [cit. 2017-06-13]. Dostupné z: <http://geologie.vsb.cz/svade/>
- [16] Vyztužování zemin. *GEOMAT*. [online]. [cit. 2017-06-13]. Dostupné z: <http://www.geomat.cz/chci-vyresit-problem/zpevneni-svahu/povrchove-zpevneni-svahu/>
- [17] Gabiony. *Betonserver.cz*. [online]. [cit. 2017-06-15]. Dostupné z: <https://www.betonserver.cz/pic/customer-foto/foto6-10547.jpeg>
- [18] Mikropiloty. *Geobetds*. [online]. [cit. 2017-07-1]. Dostupné z: <http://www.geobetds.cz/>
- [19] Pilotová stěna. *Rockbuild*. [online]. [cit. 2017-07-1]. Dostupné z: http://rockbuild.sk/photos/refs/60_R4_Skanska_2/1.jpg
- [20] Ocelová štětová stěna. *Matteo*. [online]. [cit. 2017-07-1]. Dostupné z: http://www.matteo.cz/img/referencni_stavby/kz_stabilizace_kolejoveho_loze/4-s.jpg
- [21] Kotvy a hřebíky. *Vsl*. [online]. [cit. 2017-07-1]. Dostupné z: http://www.vsl.cz/files/images/bar-systems/2_full.jpg
- [22] Mapy.cz. *Seznam.cz*. [online]. [cit. 2017-08-15]. Dostupné z: <https://mapy.cz/>
- [23] Regionální geomorfologické členění České Republiky. GRYGAR, R. a J. JELÍNEK. [online]. [cit. 2017-08-15]. Dostupné z: http://geologie.vsb.cz/geomorfologie/Prednasky/14_kapitola.htm
- [24] Databáze svahových nestabilit České geologické služby. *Mapy.geology.cz*. [online]. [cit. 2017-08-29]. Dostupné z: https://mapy.geology.cz/svahove_nestability/
- [25] Schéma regionálního geologického členění Západních Karpat v České Repce. *Regionálně-geologická klasifikace Západních Karpat na území České republiky*. [online]. [cit. 2017-08-29]. Dostupné z: http://www.geology.upol.cz/upload/studijni_materialy/ostatni_texty/Regionalne-geologicka_klasifikace_Zapadnich_Karpat_na_uzemi_Ceske_republiky.pdf
- [26] Hydrogeologické rajóny. *Český hydrometeorologický ústav*. [online]. [cit. 2017-09-02]. Dostupné z: <http://hydro.chmi.cz/ismnozstvi/ciselnik.php?t=L&id=hgr50&ordrstr=ID-&startpos=30&recnum=30>
- [27] Mapy vrtné prozkoumanosti. *Česká geologická služba*. [online]. [cit. 2017-09-04]. Dostupné z: <http://mapy.geology.cz/GISViewer/?mapProjectId=4>
- [28] Směrné normové charakteristiky zemin. *Geologie.vsb.cz*. [online]. [cit. 2017-09-16]. Dostupné z: http://geologie.vsb.cz/CviceniInzenyrskaGeologie/KAPITOLY/9_Orientacni%20char/-9%20kap_orient_char_v13ma.htm
- [29] Online nápověda – Parametry hornin. *Fine – civil engeneering software*. [online]. [cit. 2017-09-16]. Dostupné z: <http://www.fine.cz/napoveda/geo5/cs/parametry-hornin-01/>

- [30] Mapové aplikace. *Česká geologická služba*. [online]. [cit. 2017-09-18]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/extranet/mapy/mapy-online/mapove-aplikace>
- [31] Základy matematického modelování. *Issuu.com*. [online]. [cit. 2017-09-18]. Dostupné z: https://issuu.com/oktaedr/docs/oktaedr_zaklady_matematickeho_model 67

Podklady firmy UNIGEO a.s.

- [32] UNIEGEO a.s. *Závěrečná zpráva z geotechnického průzkumu Vsetín – pod zámkem*. Ostrava 2009

Normy

ČSN EN 1997-1	Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí - Část 1: Obecná pravidla
ČSN EN ISO 14688-1	Geotechnický průzkum a zkoušení – Pojmenování a zařídování hornin – Část 1: Pojmenování a popis
ČSN EN ISO 14688-2	Geotechnický průzkum a zkoušení - Pojmenování a zařídování zemin - Část 2: Zásady pro zařídování

Použitý program

AutoCAD 2016
PLAXIS 2D

12. Seznam obrázků

Obr. 1: Svahové pohyby: a) ploužení, b) sesouvání, c) stékání, d) řízení [13]	6
Obr. 2: Úprava tvaru svahu	8
Obr. 3: Vyztužení zemin – sesutá zemina vyztužena vrstvami výztužných prvků [16]	10
Obr. 4: Ochrana povrchu svahu před zvětráváním a erozí [7]	11
Obr. 5: Gabionová konstrukce [17]	12
Obr. 6: Popis zleva: pilotová stěna, ocelová štětová stěna [19] [20]	13
Obr. 7: Kotvení svahu pomocí: a) kotev, b) hřebíků [21]	14
Obr. 8: Lokalizace řešeného svahu [22, úprava autor]	15
Obr. 9: Letecká mapa řešeného svahu [22, úprava autor]	16
Obr. 10: Geomorfologické členění České republiky [23]	17
Obr. 11: Svahové nestability v okolí posuzovaného svahu [24]	18
Obr. 12: Schéma regionálního geologického členění Západních Karpat v České republice [25]	20
Obr. 13: Mapa hydrogeologických rajonů [26]	21
Obr. 14: Popis zleva: ohýbání kmenů stromů (opilé stromy); deformace chodníku	23
Obr. 15: Rekognoskace terénu – zakreslení dosud vybudovaných sanačních opatření [32; úprava autor]	24
Obr. 16: Naměřený profil řešeného svahu[22; úprava autor]	25
Obr. 17: Vrtná prozkoumanost řešeného svahu [27]	25
Obr. 18: Geologický profil vrtu V2 [32]	27
Obr. 19: Sanace nábrežní tížné zdi	28
Obr. 20: Výstavba gabionové zdi u paty svahu	28
Obr. 21: Výstavba kotvené gabionové zdi ve spodní části svahu	29
Obr. 22: Geologická stavba posuzovaného svahu	33
Obr. 23: Fáze 1 – iniciační fáze	36
Obr. 24: Výstup z PLAXIS 2D – kritický stav - průběh smykové plochy	37
Obr. 25: Výstup z PLAXIS 2D – kritický stav – absolutní posuny	38
Obr. 26: Fáze 2 – stávající stav	39
Obr. 27: Výstup z PLAXIS 2D – kritický stav - průběh smykové plochy	40
Obr. 28: Výstup z PLAXIS 2D – kritický stav - absolutní posuny	41
Obr. 29: Návrh umístění sanačních opatření[32, úprava autor]	43
Obr. 30: Injekční kotevní tyče TITAN, použité jako: a) kotva; b) hřebík; c) mikropilota [8]	44
Obr. 31: Návrh sanačního opatření pro variantu 1	45
Obr. 32: Návrh sanačního opatření pro variantu 2	47
Obr. 33: Návrh sanačního opatření pro variantu 3	48
Obr. 34: Návrh sanačního opatření pro variantu 4	50
Obr. 35: Výstup z PLAXIS 2D – kritický stav - průběh smykové plochy	55
Obr. 36: Výstup z PLAXIS 2D – kritický stav – absolutní posuny	55
Obr. 37: Výstup z PLAXIS 2D – kritický stav - průběh smykové plochy	57
Obr. 38: Výstup z PLAXIS 2D – kritický stav - absolutní posuny	57
Obr. 39: Výstup z PLAXIS 2D – kritický stav - průběh smykové plochy	59
Obr. 40: Výstup z PLAXIS 2D – kritický stav - absolutní posuny	59
Obr. 41: Výstup z PLAXIS 2D – kritický stav - průběh smykové plochy	61
Obr. 42: Výstup z PLAXIS 2D – kritický stav - absolutní posuny	61
Obr. 43: Návrh monitoringu svahu [32; úprava autor]	66

13. Seznam vzorců

Vzorec (1)	Stupeň stability
Vzorec (2)	Soudržnost hřebíků
Vzorec (3)	Výpočtová soudržnost
Vzorec (4)	Celková soudržnost hřebíkované oblasti

14. Seznam tabulek

Tab. 1: Varianta 1 – podloží svahu tvořeno pískovcem	31
Tab. 2: Varianta 2 – podloží svahu tvořeno jílovcem.....	32
Tab. 3: Vstupní parametry nábrežní tížné zdi v záložce Soil.....	37
Tab. 4: Stupeň stability pro fázi 1	38
Tab. 5: Vstupní parametry gabionové zdi v záložce Soil.....	39
Tab. 6: Vstupní parametry kotev v záložce Anchor.....	40
Tab. 7: Stupeň stability pro fázi 2	41
Tab. 8: Vstupní parametry kotev v záložce Anchor.....	52
Tab. 9: Vstupní parametry gabionové zdi v záložce Soil.....	53
Tab. 10: Vstupní parametry mikropilot v záložce Plate	53
Tab. 11: Soudržnost hřebíkované oblasti	54
Tab. 12: Stupeň stability.....	56
Tab. 13: Stupeň stability.....	58
Tab. 14: Stupeň stability.....	60
Tab. 15: Stupeň stability.....	62
Tab. 16: Srovnání sanačních opatření dle stupně stability pro podloží tvořeno pískovcem	63
Tab. 17: Srovnání sanačních opatření dle stupně stability pro podloží tvořeno jílovcem	64

15. Seznam příloh

Příloha 1	Fotodokumentace posuzovaného svahu a jeho okolí
Příloha 2	Grafické výstupy z programu PLAXIS 2D pro podloží svahu tvořeno jílovcem
Příloha 3	Výkresy navržených variant sanačních opatření